



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente  
Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di Laurea Magistrale in

Scienze e Tecnologie Agrarie

## **UTILIZZO DI SENSORI PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE E ANIMALE IN AMBITO SUINICOLO**

Relatore

*Prof. Andrea Pezzuolo*

Correlatori

*Dott. Marco Sozzi*

*Prof. Luigi Gallo*

Laureando

*Paolo Accini*

Matricola n. 1241194

ANNO ACCADEMICO 2021/2022



## Sommario

Riassunto .....	5
Abstract.....	7
1. INTRODUZIONE.....	9
2. EVOLUZIONI IN AMBITO SUINICOLO.....	16
2.1. Controllo Ambientale .....	16
2.1.1. Ventilazione e qualità dell'aria .....	16
2.1.2. Gli arricchimenti ambientali .....	23
2.1.3. Superfici e pavimentazioni .....	27
2.1.4. Densità degli animali in fase di allevamento .....	28
2.2. Controllo e Monitoraggio Animale .....	30
2.2.1. Tecnologie e Precision Livestock Farming .....	30
2.2.2. Tecniche e Sistemi di alimentazione automatica .....	40
2.3. Controllo Gestionale.....	46
3. OBIETTIVI .....	50
4. MATERIALI e METODI .....	51
4.1. Caso studio aziendale .....	51
4.2. Attività Sperimentale.....	55
4.2.1. Descrizione degli arricchimenti .....	55
4.2.2. Protocollo Sperimentale .....	59
4.2.3. Sensoristica e Programmazione .....	63
5. RISULTATI.....	66
5.1. Risultati produttivi e gestionali .....	66
5.2. Risultati climatico-ambientali .....	68
5.3. Risultati termici.....	74
6. CONCLUSIONI.....	77

Bibliografia.....	79
Sitografia .....	81
ALLEGATI .....	82
Ringraziamenti .....	89

## Riassunto

Le moderne aziende suinicole sono tra le più tecnologicamente avanzate per fronteggiare le richieste di un mercato sempre più attento alla qualità e alla garanzia di rispetto del benessere degli animali. La cosiddetta *Precision Livestock Farming* (PLF) cerca di fornire le soluzioni a questo, guidando l'allevatore in processo produttivo efficiente ma anche etico e sostenibile. I dati derivanti da tecnologie, automazione e sensori possono essere raccolti da una serie di software gestionali per poi essere messi a disposizione degli operatori per intervenire con scelte oculate di gestione.

Nel seguente lavoro di tesi, grazie all'ausilio di sensori termici e di sensori ambientali, sono stati messi a confronto quattro tipi di materiali di arricchimento in un allevamento suinicolo della Pianura Padana. In particolare, la prova è avvenuta all'interno di uno svezzamento di recente costruzione. Attraverso l'integrazione dei sensori e degli arricchimenti, i risultati ottenuti si sono rivelati interessanti, ma soprattutto utili anche per l'allevatore.

A seguito di tale esperienza sperimentale, è difficile affermare con certezza quale tra i quattro arricchimenti sia il migliore perché ognuno di essi ha i propri vantaggi e svantaggi. Si può però affermare che la paglia gioca un ruolo importante per poter aumentare il benessere dei suini, anche se richiede particolari attenzioni e strategie gestionali dedicate. Relativamente all'esigenza di garantire un monitoraggio continuativo degli animali e delle strutture produttive è da segnalare l'insorgenza di alcuni problemi che si sono verificati durante il periodo di prova e che hanno causato il malfunzionamento di alcune centraline. Altre difficoltà si sono riscontrate anche a causa di condizioni ambientali ovvero a seguito della presenza di mosche e per il lungo tempo di permanenza in stalla delle centraline. Tutto ciò ha causato un imbrattamento dei sensori con conseguente difficoltà nelle rilevazioni.

Concludendo, l'elenco dei concetti tecnologici e dei nuovi dispositivi con cui il settore dovrà acquisire familiarità è ampio. Una delle prime sfide sarà valorizzare i benefici generati da questi strumenti durante il processo per l'intera filiera. Le opzioni di analisi dei dati sono vaste, ma utili solo se tutti quei dati verranno tradotti in informazioni e report accurati che permettano di prendere decisioni concrete, mirate e tempestive per poter contrastare il problema.



## **Abstract**

Modern pig farms are among the most technologically advanced to meet the demands of a market increasingly attentive to quality and respect for animal welfare. The so-called *Precision Livestock Farming* (PLF) tries to provide useful solutions by leading the breeder to an efficient but also ethical and sustainable production process. Output data derived from technologies, automation and sensors can be collected by a series of management software and then made available to operators to intervene with sensible management choices.

The following thesis focuses on the comparison of four types of enrichment materials, thanks to data collected by thermal and environmental sensors in a pig farm in the Po Valley. More precisely, the test has taken place within a newly constructed weaning barn. Through the integration of sensors and enrichments, the results obtained have proved to be interesting, but above all useful, for the breeder.

As a result of this experimental experience, it is difficult to state with certainty which one, among the four enrichments, is the best because each of them has its own advantages and disadvantages. However, it can be said that straw plays an important role in increasing the welfare of pigs, even if it requires special attention and dedicated management strategies.

With regard to the need to ensure continuous monitoring of animals and production facilities, it is worth noting the occurrence of some problems during the test period, which caused the malfunction of some control units. Other difficulties have been caused by environment conditions, namely the presence of flies and the fact that control units have stayed in the stable for a long period of time: sensors have been dirtied with consequent difficulty in detection.

In conclusion, the list of technology concepts and new devices with which pig farming will have to become familiar is extensive. One of the first challenges will be to exploit the benefits generated by these tools during the process for the entire supply chain. The data analysis options are wide, but they will result useful if all data are converted into information and accurate reports enabling to make concrete, targeted and timely decisions to face problems.





## 1. INTRODUZIONE

Il comparto suinicolo italiano riveste una grande importanza a livello nazionale e rappresenta uno dei segmenti principali dell'agroalimentare sia per la produzione animale che, in misura rilevante, per l'indotto relativo all'industria di trasformazione (Bellini et al., 2009).

Come riportato in tabella (Tab. 1), il patrimonio suinicolo nazionale nel 2020 è rimasto pressoché stabile rispetto all'anno precedente. Tuttavia, osservando dal 1990, il numero di suini sta progressivamente diminuendo di anno in anno subendo una importante riduzione, ed è interessante osservare come, rispetto al picco del 2010, si sia perso quasi un milione di capi allevati (Basile C, 2021).

### IL PATRIMONIO SUINICOLO NAZIONALE

1990	2000	2005	2010	2015	2019	2020	Variazione
capi	capi	capi	capi	capi	capi	capi	2020/19
n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°	%
8.837.000	8.645.540	9.200.000	9.321.120	8.674.790	8.510.270	8.543.030	0,4

Fonte: EUROSTAT

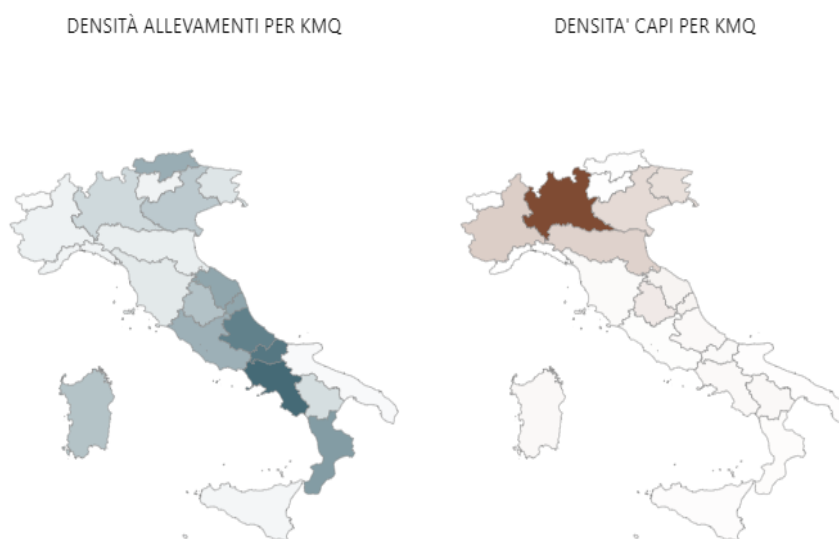
Tab. 1 – patrimonio suinicolo nazionale dal 1990 al 2020 (Basile C, 2021)

Dai dati della Banca Dati Nazionale relativi al 2021 (Tab. 2) è chiaro come la Lombardia sia la regione leader con oltre 4 milioni di capi allevati; seguono Piemonte (1.284.850), Emilia-Romagna (1.047.038) e Veneto (701.013).

REGIONE	NUMERO ALLEVAMENTI	DI CUI CON SOLO CINGHIALI	DI CUI CON MAIALI E CINGHIALI	NUMERO CAPI	DI CUI CINGHIALI	DI CUI MAIALI	DI CUI GRASSI	DI CUI MAGRONI	DI CUI MAGRONCELLI	DI CUI LATTONZOLI	DI CUI SCROFE	DI CUI SCROFETTE	DI CUI VERRI
VENETO	2.086	17	14	701.013	195	700.818	176.125	160.556	68.993	235.689	46.259	10.711	369
VALLE D'AOSTA	69	2	0	114	5	109	22	40	9	16	10	7	4
UMBRIA	860	41	2	187.454	575	186.879	55.155	31.319	32.973	50.664	11.130	5.299	236
TRENTO	66	0	1	5.887	0	5.887	2.527	1.691	731	608	307	20	3
TOSCANA	1.114	99	23	122.955	3.180	119.775	32.782	41.494	10.414	24.383	7.773	2.407	522
SICILIA	1.693	10	17	67.562	215	67.347	5.390	27.563	8.026	16.480	7.434	1.043	1.154
SARDEGNA	12.998	57	43	180.202	1.822	178.380	3.203	46.517	16.343	33.328	61.781	4.601	12.573
PUGLIA	630	4	7	33.443	141	33.302	7.175	8.128	2.195	3.506	1.526	448	281
PIEMONTE	1.475	42	0	1.284.850	228	1.284.622	442.499	308.583	185.868	278.948	56.583	11.600	519
MOLISE	245	2	0	21.368	0	21.368	8.618	7.777	3.431	409	358	20	61
MARCHE	822	20	13	103.162	238	102.924	30.066	19.385	13.460	33.464	5.303	897	183
LOMBARDIA	2.716	21	0	4.423.944	233	4.423.711	1.091.946	1.198.828	921.299	923.898	231.874	53.715	2.151
LIGURIA	184	14	6	846	106	740	192	226	110	23	138	7	44
LAZIO	1.107	35	14	41.998	406	41.592	12.093	13.058	5.497	6.538	3.401	423	477
FRIULI VENEZIA GIULIA	820	7	5	264.893	55	264.838	67.685	43.231	50.454	79.232	17.333	6.799	102
EMILIA ROMAGNA	1.139	40	5	1.047.038	4.733	1.042.245	326.736	238.660	177.968	230.974	53.657	11.913	551
CAMPANIA	659	11	5	79.504	69	79.435	17.015	30.137	7.864	19.187	4.449	323	206
CALABRIA	635	4	5	49.830	20	49.810	10.832	17.512	4.870	11.643	4.291	289	342
BOLZANO	251	0	1	2.625	0	2.625	25	100	2.029	14	298	80	79
BASILICATA	362	3	4	67.883	22	67.861	8.222	15.659	18.097	19.343	4.260	1.884	180
ABRUZZO	799	24	11	65.165	104	65.061	18.422	10.537	6.629	21.109	7.535	528	204
<b>Totali</b>	<b>30.730</b>	<b>453</b>	<b>176</b>	<b>8.751.736</b>	<b>12.407</b>	<b>8.739.329</b>	<b>2.316.730</b>	<b>2.221.001</b>	<b>1.537.260</b>	<b>1.989.456</b>	<b>525.700</b>	<b>113.014</b>	<b>20.241</b>

Tab. 2 – consistenza allevamenti e capi suini (Anagrafe Nazionale Zootecnica)

È possibile osservare quindi una forte concentrazione territoriale dei capi allevati (Fig. 1), dove nell'area della Pianura Padana sono presenti la gran parte degli allevamenti intensivi e in una sola regione, la Lombardia, è presente oltre la metà del patrimonio suinicolo nazionale.



*Fig. 1 – densità di allevamenti e capi per regione (Anagrafe Nazionale Zootecnica)*

Nell'ultimo decennio, nelle regioni dell'Italia settentrionale, zona particolarmente vocata a questo tipo di produzione zootecnica, si è verificata una forte intensificazione degli allevamenti con sostanziali cambiamenti strutturali, tecnici e organizzativi.

Nella restante parte del territorio nazionale è invece prevalente un allevamento tendenzialmente meno specializzato, con indirizzi produttivi misti e organizzazione aziendale spesso a carattere familiare, osservabile dalla Fig. 2. Si può notare quindi una situazione decisamente opposta tra il Nord e il Centro-Sud Italia, con il patrimonio suinicolo prevalentemente concentrato appunto nell'area settentrionale e una dimensione media degli allevamenti pari a 886 capi per azienda. Viceversa, al Centro-Sud, è localizzato il maggior numero di aziende, ma queste sono caratterizzate da dimensioni decisamente minori, in media 44 capi per azienda (Fig. 3).

La struttura produttiva nazionale si caratterizza per un elevato grado di specializzazione nell'ingrasso, come si può osservare dalla tabella (Fig. 4), soprattutto per la produzione di un suino pesante (peso finale oltre 160 kg) destinato alla trasformazione in prosciutti e salumi (Canali et al., 2020). È possibile trovare anche suini leggeri (peso finale compreso tra 100-110 kg) destinati al circuito della carne fresca ma che rappresentano una quota minore rispetto al suino pesante, in parte dovuto alle caratteristiche della carne, sia per la forte pressione competitiva esercitata dalle carni di provenienza estera.

La coesistenza di realtà zootecniche così diversificate a livello nazionale comporta la presenza di modalità gestionali differenziate che comportano diverse scale di produzione, standard sanitari, standard di biosicurezza, input produttivi, esigenze di mercato e costi di produzione.

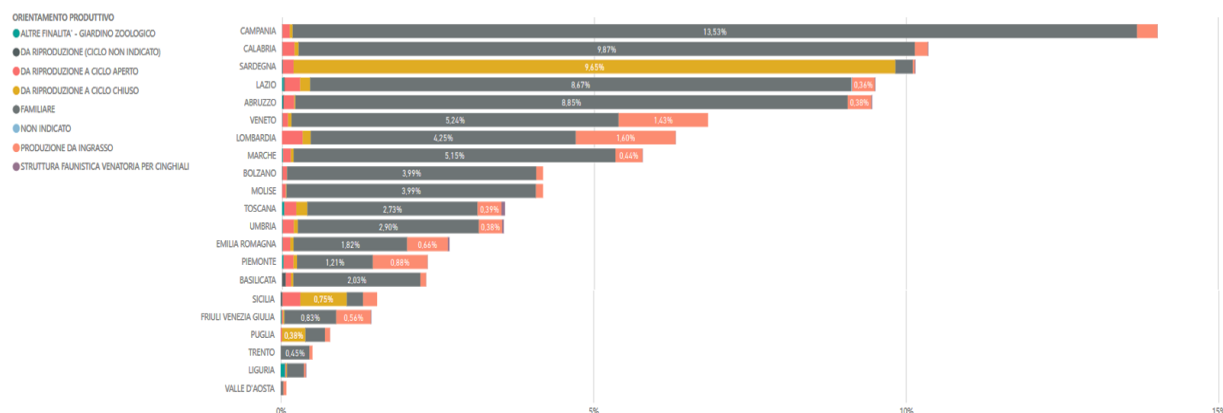


Fig. 2 – consistenza allevamenti in base all'orientamento produttivo (Anagrafe Nazionale Zootecnica)

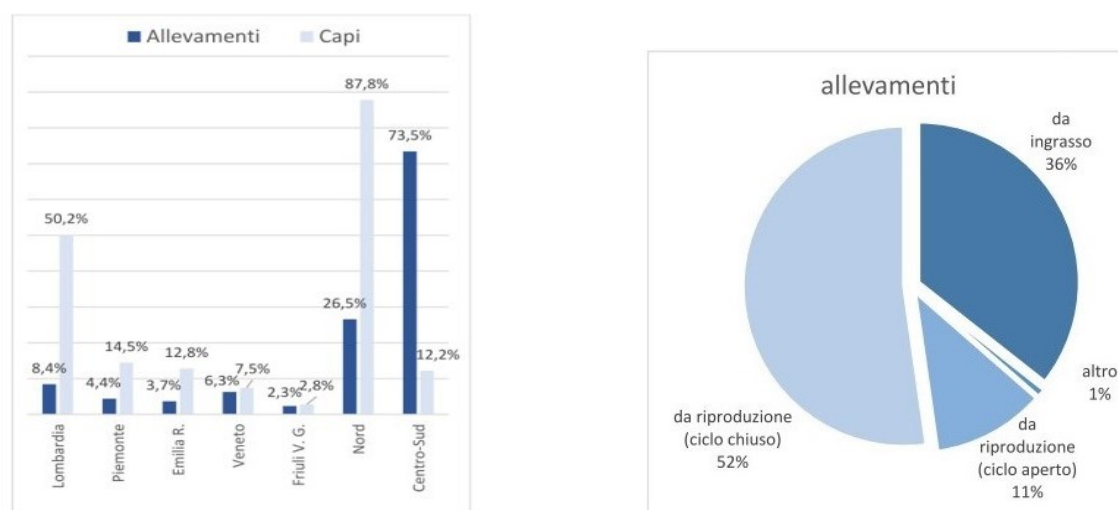


Fig. 3, a sinistra – distribuzione del patrimonio suinicolo e del numero di allevamenti (Canali G et al., 2020)

Fig. 4, a destra – ripartizione degli allevamenti in base all'orientamento produttivo (Canali G et al., 2020)

Se analizziamo in dettaglio il patrimonio suinicolo lombardo notiamo che la produzione si concentra nelle aree più vocate ovvero le province di Brescia, leader con oltre 1,3 milioni di capi, e Mantova, in leggero calo rispetto all'anno precedente ma con circa un milione di suini. Queste province coprono circa metà della produzione a livello regionale (Tab. 3).

**II PATRIMONIO SUINICOLO IN LOMBARDIA**  
(dati al 1° dicembre 2020)

Province	COMPARTO SUINI - ANNO 2020				
	Altri suini	Scrofe	Verri	Totale capi	Incidenza
	n°	n°	n°	n°	%
<b>BRESCIA</b>	1.303.119	72.048	1.559	<b>1.376.726</b>	31,3
<b>MANTOVA</b>	1.034.210	43.994	586	<b>1.078.790</b>	24,5
<b>CREMONA</b>	873.356	44.954	275	<b>918.585</b>	20,9
<b>LODI</b>	342.950	17.558	182	<b>360.690</b>	8,2
<b>BERGAMO</b>	321.341	18.256	357	<b>339.954</b>	7,7
<b>PAVIA</b>	228.726	15.936	107	<b>244.769</b>	5,6
<b>MILANO</b>	64.681	4.667	65	<b>69.413</b>	1,6
<b>MONZA E BRIANZA</b>	3.425	127	13	<b>3.565</b>	0,1
<b>LECCO</b>	2.423	204	26	<b>2.653</b>	0,1
<b>COMO</b>	1.680	60	17	<b>1.757</b>	0,0
<b>SONDRIO</b>	1.656	41	7	<b>1.704</b>	0,0
<b>VARESE</b>	864	76	124	<b>1.064</b>	0,0
<b>TOTALE</b>	<b>4.178.431</b>	<b>217.921</b>	<b>3.318</b>	<b>4.399.670</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Regione Lombardia - Servizi Veterinari

Tab. 3 – patrimonio suinicolo in Lombardia (Basile C, 2021)

Oltre ai numeri del comparto e le relative potenzialità economiche, uno dei trend più importanti che sta caratterizzando il comparto suinicolo è rappresentato dal benessere animale. È un concetto di notevole importanza per gli allevatori, in quanto la filiera ed in particolare il consumatore finale è sempre più sensibile nei confronti dei bisogni e delle esigenze degli animali e richiede alimenti sani e di qualità.

Il benessere animale fu definito ancora nel '76 da Huges come *“uno stato di completa salute mentale e fisica nel quale l'animale si trova in armonia con l'ambiente circostante”* (Zavattini et al., 2017).

Durante il *British Farm Animal Welfare Council* (del 1979) sono state emanate le cinque libertà per la tutela del benessere animale: libertà dalla fame, dalla sete e dalla cattiva nutrizione; libertà dal disagio fisico e termico; libertà dalle lesioni e dalle malattie; libertà di poter manifestare le caratteristiche comportamentali specie-specifiche ed infine libertà dalla paura e dallo stress.

I principali riferimenti normativi sono oggi rappresentati da (Zavattini et al., 2017):

- Decreto Legislativo 30 dicembre 1992, n. 534. “Attuazione della direttiva 91/630/CE che stabilisce le norme minime per la protezione dei suini”
- Decreto Legislativo 26 marzo 2001, n.146. “Attuazione della direttiva 98/58/CE relativa alla protezione degli animali negli allevamenti”

- Decreto Legislativo 20 febbraio 2004, n. 53. “Attuazione della direttiva n. 93/2001/CE che stabilisce le norme minime per la protezione dei suini” (questo decreto modifica il D.Lgs. 534/1992)
- Decreto Legislativo 7 luglio 2011, n.122. “Attuazione della direttiva 120/2008/CE che stabilisce le norme minime per la protezione dei suini”
- Raccomandazione (UE) 2016/336 della Commissione dell'8 marzo 2016 relativa “all'applicazione della direttiva 2008/120/CE del Consiglio che stabilisce le norme minime per la protezione dei suini in relazione alle misure intese a ridurre la necessità del mozzamento della coda”.

Fino dagli anni '60 la produzione suinicola era tipicamente basata su sistemi di allevamento a carattere prevalentemente familiare e con ampie superfici adibite al pascolo. Durante l'ultima metà del XX secolo sono avvenuti una serie di profondi cambiamenti che hanno modificato le pratiche di gestione e la produzione è stata inevitabilmente oggetto di progressive conversioni da realtà produttive estensive ad intensive. Questa transizione ha rivoluzionato completamente il modo di allevare gli animali. Un altro fattore, che ha spinto verso l'utilizzo di nuove tecnologie, è il continuo aumento della popolazione mondiale e la crescente domanda di prodotti a base di carne. Questo sta spingendo gli allevamenti attuali ad avere livelli produttivi sempre efficienti, sempre nel rispetto degli animali e dell'ambiente. Inoltre, la società moderna è sempre più preoccupata e attenta verso la sicurezza e la qualità degli alimenti, ad un'agricoltura e zootecnia che siano sostenibili e al modo con cui vengono allevati gli animali.

In seguito a tutto ciò, si sono sviluppate tecnologie in grado di offrire garanzie sulla salute degli animali che si riflettono così sulla qualità delle loro produzioni e in grado di monitorare molte variabili durante l'intero processo di produzione al fine di soddisfare tutti questi obiettivi (Tzanidakis et al., 2021).

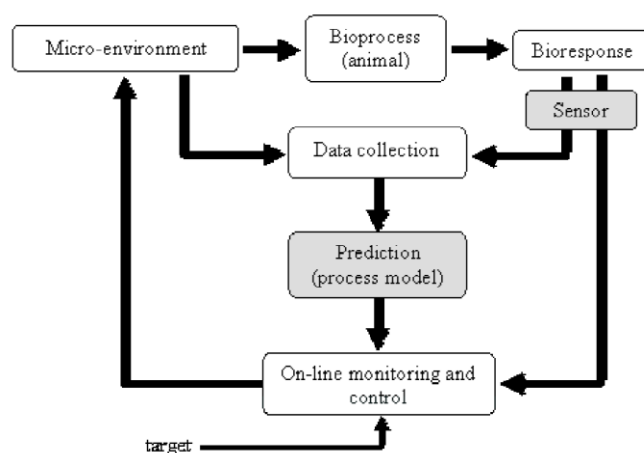
Tutt'ora gli allevamenti più che definirli esclusivamente intensivi, sarebbe meglio chiamarli “di precisione”, grazie al ricorso di tecnologie sempre più all'avanguardia. Infatti, la zootecnia intensiva sta attraversando periodi di forti cambiamenti ed è ben diversa dagli stereotipi che vorrebbero descriverla proponendo situazioni irreali. L'allevamento suinicolo è ad oggi uno dei settori produttivi tecnologicamente più avanzati ed in continua crescita ed espansione. Poiché il numero di suini è in costante

aumento, ma allo stesso tempo diminuiscono gli allevamenti, risulta quasi impossibile per gli allevatori valutare accuratamente ogni singolo animale ed assicurarne il benessere.

Il ricorso così, ad un allevamento di precisione (*PLF, Precision Livestock Farming*) potrebbe garantire soluzioni operative in grado di risolvere, o perlomeno contrastare, i problemi della zootecnia attuale (Vranken & Berckmans, 2017). Attraverso la PLF si intende ottenere un monitoraggio continuo, completamente automatizzato degli animali presenti all'interno dei singoli box, facendo ricorso ai progressi in campo tecnologico come parte del processo di gestione ed infine decisionale. Si punta così, ad aumentare la capacità del personale di monitorare continuamente la vita degli animali, nonostante un numero considerevole di capi (Banhazi & Black, 2009).

L'obiettivo di questi strumenti tecnici non è sostituire ma sostenere gli operatori nelle decisioni che dovranno prendere per una corretta gestione degli animali. Questa evoluzione ha infatti portato l'allevatore ad un aumento delle mansioni amministrative e del carico di lavoro tecnico, organizzativo e logistico, limitandone le possibilità di controllare i propri animali. È un sistema di allevamento che potenzialmente può migliorare il benessere degli animali, l'efficienza di utilizzo dei mangimi e dei farmaci, le performance produttive e le emissioni in atmosfera, tutto ciò ha un impatto positivo sulla redditività dell'intera azienda (Berckmans, 2014).

Il monitoraggio e l'analisi delle risposte dell'animale sono il punto di partenza di qualsiasi sistema PLF, fornendo i set di dati che verranno successivamente utilizzati per lo sviluppo di algoritmi che controlleranno determinati parametri nel processo di produzione (Fig. 5).



*Fig. 5 – allevamento di precisione mediante integrazione di biorisposte misurate insieme a un modello di processo predittivo: una panoramica schematica (Berckmans, 2004)*

L'approccio PLF parte dall'osservazione che l'animale è la parte cruciale del processo di produzione in un allevamento. Ogni organismo vivente, viene definito come un sistema CIT (*Complex, Individual e Time-variant*) cioè complesso, singolarmente diverso e nel tempo variante in base alle diverse condizioni (Berckmans, 2004).

Quando viene rilevato un problema, viene attivato un segnale di avviso in modo tale che sia possibile intraprendere un'azione mirata nel più breve tempo possibile, portando così ad una soluzione precoce del problema.

I dati possono essere raccolti tramite telecamere (es. TVCC, infrarossi, termiche, ecc.) e sistemi di analisi in tempo reale, da microfoni e sistemi di analisi del suono o da qualsiasi altro sensore per la rilevazione della temperatura o della ventilazione o applicati direttamente sull'animale come accelerometri, sensori RFID, ecc. (Tzanidakis et al., 2021).

La tecnologia richiesta è disponibile e accessibile a tutti. La chiave per realizzare queste applicazioni e tutto ciò che ne deriva è la continua ricerca multidisciplinare per poter affinare, migliorare e semplificare l'utilizzo da parte degli allevatori.

## **2. EVOLUZIONI IN AMBITO SUINICOLO**

Come approfondito nel capitolo precedente, la suinicoltura nel tempo ha subito e, tutt'ora sta subendo, profondi cambiamenti per poter rispondere alle nuove sfide produttive.

Il comparto suinicolo italiano ha raggiunto un elevato livello di specializzazione che ha portato alla creazione di complesse strutture di allevamento, nelle quali assumono grande importanza e rilevanza gli aspetti legati alla componente tecnologica e organizzativa (Rossi et al., 2013).

Di seguito, verranno illustrate le principali tecniche e tecnologie in grado di adempiere al controllo sull'ambiente, sull'animale ed infine sul processo gestionale.

### **2.1. Controllo Ambientale**

Il controllo ambientale riveste un ruolo di primaria importanza, in quanto da esso dipendono in misura rilevante la salute e la capacità produttiva degli animali e, di conseguenza, il futuro reddito dell'allevatore.

L'importanza di una corretta gestione di tale componente è inoltre destinata a crescere sempre di più nel corso dei prossimi anni per far fronte alle nuove esigenze dettate dai cambiamenti climatici. Un cenno anche al controllo ambientale, non solo per quanto riguarda gli edifici zootecnici, ma anche riguardo alle emissioni in atmosfera. Attualmente, in letteratura non ci sono riferimenti che le attuali tecnologie riducano il carico ambientale degli allevamenti, comunque adottando strategie di allevamento di precisione può portare ad una sostanziale diminuzione dell'impatto sull'ambiente (Tullo et al., 2019).

#### **2.1.1. Ventilazione e qualità dell'aria**

Gli interventi per il controllo ambientale delle porcilaie sono molteplici, ma i più importanti riguardano certamente l'isolamento termico (limitando gli scambi di calore fra ambiente esterno ed interno), il riscaldamento, il raffrescamento e la ventilazione.

In particolare, quest'ultima, ha la funzione di creare e mantenere un ambiente che sia idoneo alla vita e al benessere degli animali, ma anche dell'uomo, oltre ad essere essenziale per evitare il deterioramento precoce dei materiali edili, delle attrezzature e degli impianti presenti. Attraverso un adeguata ventilazione si apporta ossigeno entro struttura di allevamento, si allontanano i gas nocivi, le polveri, il vapore acqueo in eccesso e si asporta il calore sensibile animale. Per poter garantire un ottimale ricambio d'aria



nelle diverse stagioni dell'anno, occorre calcolare in modo preciso e accurato le portate minima e massima per le condizioni climatiche estreme (inverno ed estate), prevedendo sistemi manuali o automatici in grado di modificare e variare la portata stessa sulla base dei cambiamenti delle condizioni interne ed esterne.

Nei ricoveri suini, le tecniche di ventilazione adottate possono ricondursi al movimento dell'aria indotto da naturali effetti fisici (ventilazione naturale o statica), oppure prevedere l'impiego di ventilatori di vario tipo azionati da motori elettrici (ventilazione artificiale o dinamica) (Rossi et al., 2013).

La ventilazione naturale è apprezzata per la sua semplicità e per il fatto che non comporta consumi elettrici elevati, anzi, se non è previsto un sistema di regolazione automatico, i consumi arrivano ad essere nulli. Questo tipo di ventilazione sfrutta la forza ascensionale termica dell'aria (effetto camino) e i movimenti dell'aria causati dal vento. Effetto camino che, risulta evidente, soprattutto d'inverno, quando la differenza di temperatura tra interno e l'esterno è maggiore, e tende ad incrementare all'aumentare del dislivello tra uscite ed ingressi dell'aria. L'effetto vento, invece, risulta poco controllabile in quanto i moti convettivi orizzontali subiscono l'influenza da vari fattori. È però fondamentale nel periodo estivo in quanto in presenza di adeguate aperture è in grado di muovere grandi masse d'aria.

Le uscite dell'aria vengono collocate, preferibilmente in corrispondenza del colmo del tetto e possono essere realizzate mediante una fessura continua protetta dalla pioggia, il cosiddetto cupolino, oppure con una serie di camini di ventilazione. Per fare in modo che il vento non influisca negativamente sulla ventilazione è consigliabile proteggere le uscite d'aria mediante appositi deflettori. Le prese d'aria sono posizionate sulle pareti laterali e possono essere costituite da finestre o da aperture chiudibili.

Recentemente, al fine di migliorare le prestazioni della ventilazione statica, sono stati introdotti sistemi di regolazione automatica dell'apertura e chiusura delle finestre (*ACNV: Automatically Controlled Natural Ventilation*). Questi sistemi si basano sull'utilizzo di finestre, tipo vasistas o a bilico, apribili mediante motorizzazione elettrica con controllo operato da una centralina elettronica sensibile alla temperatura interna (mediante apposita sonda termometrica) (Rossi et al., 2004).

Relativamente alla ventilazione artificiale questa si realizza attraverso l'impiego di ventilatori elettrici e i modelli più diffusi negli ambienti suinicoli sono quelli elicoidali a pale larghe. Innanzitutto, vengono stabiliti il numero e la dimensione dei ventilatori per fornire le portate richieste (dimensionamento), poi viene individuato il più adeguato

sistema di regolazione, manuale o automatico, per l'adeguamento delle portate alle mutevoli condizioni climatiche.

La regolazione può essere affidata a una centralina (Fig. 6) collegata ad una sonda termometrica e/o igrometrica. La variazione della velocità di rotazione, da cui dipende la portata, può essere a gradini o continua.



Fig. 6 – centraline elettriche per il controllo della ventilazione (Rossi P et al., 2013)

In alternativa, è possibile prevedere ventilatori a portata fissa (*on/off fans*) e attuare la regolazione mediante un sistema automatico di accensione e spegnimento di uno o più ventilatori.

Sono da considerarsi sistemi di ventilazione forzata, solamente gli impianti che consentono di gestire unicamente il ricambio dell'aria di un ambiente con l'esterno. Ciò avviene, senza l'apertura di finestre o porte, ma attraverso condotte di ventilazione forzata. Queste sono collegate con gli ambienti interni da aspiratori, per la rimozione dell'aria, e da diffusori, per l'immissione di aria nuova.

Il principale vantaggio di questo tipo di ventilazione è che il flusso d'aria risulta svincolato dall'andamento dei moti convettivi; così da poter ventilare in modo contrario a quanto avverrebbe naturalmente. Questo è particolarmente utile soprattutto, in presenza di pavimento fessurato, per poter garantire il rapido allontanamento dei gas nocivi che si formano nelle fosse di raccolta dei liquami.

La scelta del sistema di ventilazione artificiale dipende dalla tipologia costruttiva dell'edificio, dalla sua organizzazione interna, dalla tecnologia di allevamento, dalle condizioni climatiche esterne e da situazioni contingenti che vanno opportunamente esaminate caso per caso e tenute in considerazione.

Con una ventilazione di tipo artificiale risulta necessario predisporre un sistema di sicurezza in grado di avvertire l'allevatore, tramite allarmi a suoneria oppure attraverso

allerte direttamente sul telefono, in caso di eventuali guasti all'impianto di ventilazione e di supplire a momentanei blackout. Ci sono dispositivi automatici per l'apertura delle finestre per la ventilazione di soccorso. Chiaramente, da non trascurare, una regolare manutenzione e pulizia dei ventilatori, infatti in presenza di sporco si può ridurre la portata del ventilatore anche del 40% (Rossi et al., 2018).

Come definito nel *Manuale Esplicativo per la Valutazione del Benessere Animale* (CReNBA & IZSLER, 2019) *"Se la salute ed il benessere degli animali dipendono da un impianto di ventilazione artificiale, deve essere previsto un adeguato impianto di riserva per garantire un ricambio di aria sufficiente a salvaguardare la salute e il benessere degli animali. In caso di guasto all'impianto e deve essere previsto un sistema di allarme che segnali il guasto. Detto sistema d'allarme deve essere sottoposto a controlli regolari"* (D. L. vo 146/2001, allegato, punto 13).

La condizione non adeguata prevede la presenza unicamente di ventilazione forzata con assenza di un sistema d'allarme e/o contemporaneamente di un generatore di energia, che permette il ripristino della ventilazione nel caso di guasti e/o mancanza di energia.

Mentre la condizione ottimale prevede la ventilazione naturale o unicamente forzata con apposito sistema d'allarme ed impianto di riserva.

Durante il periodo invernale è necessario limitare l'innalzamento dell'umidità all'interno dei locali, mentre durante la stagione calda è importante aumentare la ventilazione sino ai livelli massimi possibili, per sottrarre agli ambienti d'allevamento il calore perché, se accumulato, peggiorerebbe ulteriormente la situazione termica già critica in questo periodo (Tab. 4).

<b>Categoria e peso vivo</b>	<b>Portata invernale (m<sup>3</sup>/h per capo)</b>	<b>Portata estiva (m<sup>3</sup>/h per capo)</b>
Suinetto di 5 kg	3	20
Suinetto di 10 kg	5	30
Suinetto di 20 kg	7	50
Suino di 30 kg	9	65
Suino di 50 kg	13	85
Suino di 80 kg	16	110
Suino di 100 kg	17	115
Suino di 120 kg	18	120
Suino di 160 kg	19	165
Scrofa gestante di 200 kg	24	215
Scrofa allattante di 200 kg con nidiate	32	300
Verro 250 kg	25	220

*Tab. 4 – Ventilazione artificiale e portate per categorie di suini (Rossi et al., 2018)*

Bisogna poter mantenere, all'interno delle porcilaie, adeguati parametri microclimatici (temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria) che sono essenziali per raggiungere un ottimo livello di benessere. I suini sono molto sensibili alle alte temperature e cercano di proteggersi modificando il loro comportamento. Infatti, in situazioni di caldo, il suino tende ad assumere una posizione di decubito laterale, che offre la massima superficie corporea all'aria e al contatto con il pavimento, cerca inoltre le zone con maggiori correnti d'aria e limita l'ingestione di alimento, ma aumenta il considerevolmente il consumo di acqua. Le basse temperature, invece, difficilmente risultano essere dannose per gli animali, tranne che nei giovani animali. In questo caso, i suini tendono al raggruppamento per limitare la superficie cutanea esposta all'aria. Inoltre, evitano le zone con correnti d'aria ed aumentano il consumo alimentare. I valori ottimali sono quelli in cui l'animale si trova in una condizione di comfort all'interno dell'ambiente, questi vengono definiti per categoria animale. Le richieste termiche sono notevolmente più elevate negli animali più giovani (lattonzoli, suinetti). Inoltre, anche la tipologia di pavimentazione e la stabulazione individuale o in gruppo sono fattori da tenere in debita considerazione per la capacità di termoregolazione del suino (Tab. 5) (Rossi et al., 2013).

<b>Categoria di animale e tipologia di stabulazione</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Verro in box singolo: - Pavimento parzialmente fessurato - Pavimento pieno - Con paglia	18 ÷ 20 16 ÷ 18 14 ÷ 16
Scrofa gestante: - Stabulazione singola - Stabulazione collettiva, pavimento parzialmente fessurato - Stabulazione collettiva, pavimento pieno - Stabulazione collettiva, a lettiera	19 ÷ 20 17 ÷ 18 15 ÷ 16 13 ÷ 14
Scrofa allattante: - Pavimento grigliato - A lettiera	18 ÷ 20 16 ÷ 18
Lattonzoli (zona nido): - Alla nascita - Prima settimana - Seconda settimana - Terza settimana - Quarta settimana	32 ÷ 35 28 ÷ 30 26 ÷ 28 24 ÷ 26 22 ÷ 24
Suinetti in post-svezzamento (inizio periodo): - Pavimento fessurato - Pavimento parzialmente fessurato - A lettiera	27 ÷ 28 26 ÷ 27 21 ÷ 22
Suinetti in post-svezzamento (fine periodo): - Pavimento fessurato - Pavimento parzialmente fessurato - A lettiera	20 ÷ 22 18 ÷ 20 16 ÷ 18
Suini da 30 a 50 kg: - Pavimento fessurato - Pavimento pieno - A lettiera	21 ÷ 22 19 ÷ 20 16 ÷ 17

Suini da 51 a 100 kg:	
- Pavimento fessurato	19 ÷ 20
- Pavimento pieno	17 ÷ 18
- A lettiera	14 ÷ 15
Suini da 101 a 170 kg:	
- Pavimento fessurato	17 ÷ 18
- Pavimento pieno	15 ÷ 16
- A lettiera	12 ÷ 13

*Tab. 5 – temperatura ambientale consigliata all'interno delle porcilaie, valori di temperatura misurati all'altezza degli animali (Rossi et al., 2018)*

Per quanto riguarda l'umidità relativa, la ricerca non ha definito un valore univoco ottimale per i suini. È però evidente che un tasso di umidità troppo basso può comportare problemi all'apparato respiratorio e un aumento della polverosità ambientale. Mentre un'elevata umidità è dannosa se abbinata ad alte o basse temperature. In base alla categoria produttiva, tuttavia, possiamo definire alcuni valori: 65-75% nei reparti di fecondazione-gestazione e di accrescimento-ingrasso, 60-70% nei reparti maternità e post-svezzamento. Indicativamente, per tutti i suini, è consigliabile mantenere un range tra 55 e 70% (Rossi et al., 2018).

Come accennato, è importante considerare anche la velocità dell'aria. Questa varia in base alla stagione: in estate, un'elevata velocità favorisce la dispersione di calore; mentre in inverno una velocità più bassa garantisce una limitata perdita di calore (Tab. 6).

Categoria di suini	INVERNO	ESTATE
	Velocità massima (m/s)	Velocità consigliata (m/s)
Scrofe	0,3	3,0
Suinetti sottoscrofa	0,1	0,7
Suino in post-svezzamento	0,15	0,8
Suino da ingrasso	0,3	3,0

*Tab. 6 – velocità dell'aria all'interno delle porcilaie (Rossi P et al., 2018)*

Tra i parametri ambientali da considerare, per un adeguato livello di benessere e di vita, ci sono anche i parametri qualitativi dell'aria, la luce e le polveri. L'effetto della luce condiziona il comportamento degli animali, in quanto alcune risposte possono avvenire soltanto quando i soggetti si vedono tra loro.

L'oscurità parziale o totale favorisce, nei settori di allattamento e svezzamento, la calma dei suinetti, riducendo il tasso di cannibalismo.

Mentre nel reparto d'ingrasso, un'illuminazione moderata provoca una leggera diminuzione nell'indice di conversione degli alimenti; in tal modo si migliorano le prestazioni produttive, probabilmente a causa di una maggiore tranquillità degli animali (Rossi et al., 2004).

Tuttavia, in base alla concentrazione nell'aria, i gas nocivi e la polvere hanno maggiori effetti negativi. Ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ), acido solfidrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ed anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) sono i principali gas nocivi prodotti. Questi hanno effetti diretti, così come le polveri, sull'apparato respiratorio, inoltre causano lacrimazione, irritazione o infiammazione a livello oculare e/o respiratorio provocando l'insorgenza di malattie specifiche (Fig. 7).

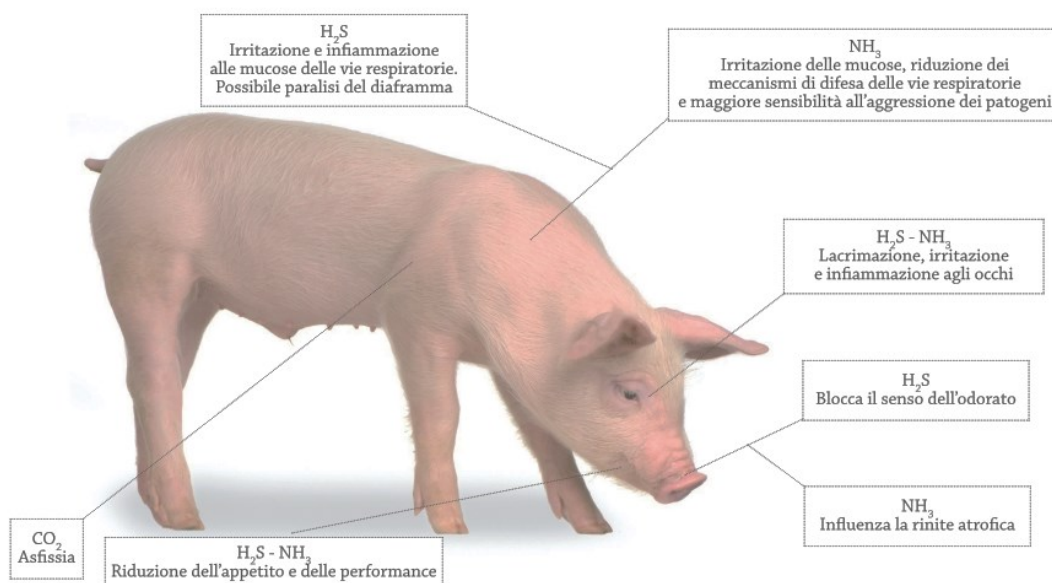


Fig. 7 – effetto dei principali gas nocivi sulla specie suina (Sorice et al., 2014)

Le concentrazioni massime ammesse vengono ritenute pressoché simili a quelle per l'uomo (Tab. 7). Le polveri sono composte da una miscela di particelle di diverse dimensioni che sono disperse nell'aria.

Le concentrazioni tollerabili possono variare in relazione alla pericolosità delle sostanze presenti nell'ambiente. Solitamente, i limiti medi per gli animali (così come per l'uomo) sono di  $10 \text{ mg/m}^3$  per la polvere totale e di  $5 \text{ mg/m}^3$  per quella respirabile.

Tempo di esposizione	Ammoniaca (ppm)	Biossido di carbonio (ppm)	Acido solfidrico (ppm)
Prolungato	10	2.500	2,5
Breve	25	5.000	10

Tab. 7 – concentrazioni massime di gas nocivi ammesse nei ricoveri zootecnici (Rossi P et al., 2018)

Per abbattere polveri e gas nocivi, oltre ad alcuni accorgimenti come la pulizia dei locali, la modalità di distribuzione dei mangimi o la corretta ventilazione, sono presenti sul mercato tecnologie quali il lavaggio dell'aria, la ionizzazione o la filtrazione. Tuttavia, la valenza di questi sistemi deve essere ancora dimostrata sia dal punto di vista tecnico che economico (Rossi et al., 2018).

### 2.1.2 Gli arricchimenti ambientali

Altra categoria essenziale per il controllo ambientale è rappresentata dagli arricchimenti. Questi sono generalmente rappresentati da materiale manipolabile cioè substrato o oggetti che vengono forniti al suino, al fine di permettergli di manifestare il suo comportamento esplorativo. Infatti, solitamente, in allevamento gli ambienti sono tendenzialmente privi di stimoli e non permettono perciò al suino di soddisfare questo comportamento, anzi si verifica la comparsa di atteggiamenti anomali e potenzialmente pericolosi che possono sfociare in cannibalismo e/o aggressività eccessiva. Tuttavia, con l'introduzione di questi arricchimenti, che devono soddisfare determinati requisiti descritti in Tab. 8, gli animali mantengono attivo questo comportamento esplorativo.

<b>Proprietà</b>	<b>Descrizione</b>
Complesso	Il suino è un animale estremamente intelligente, con un comportamento articolato. Più un materiale stimola e mantiene l'interesse dell'animale, tanto più lo tiene occupato
Distruttibile e Variabile	Un materiale che non può essere distrutto diventa rapidamente poco interessante per il suino, che deve poter modificare l'oggetto attraverso la masticazione.
Ingeribile	I suini sono abituati a masticare e ingerire ciò che trovano nell'ambiente. La sazietà riduce la motivazione a grufolare.
Con proprietà nutrizionali	I suini potrebbero trarre beneficio dall'ingerire o masticare gli oggetti che trovano nel box (fibra, vitamine, sali, ecc.).
Pulito	Il suino perde rapidamente interesse per ciò che è imbrattato da feci e urine.

*Tab. 8 – caratteristiche dei materiali di arricchimento (Rossi P et al., 2018)*

Le caratteristiche dei vari materiali utilizzabili sono riportate nella Raccomandazione UE 2016/336 (Commissione UE, 2016) definisce: “4. *I materiali di arricchimento dovrebbero permettere ai suini di soddisfare i loro bisogni fondamentali senza*

*comprometterne la salute. A tal fine i materiali di arricchimento dovrebbero essere sicuri e presentare le seguenti caratteristiche:*

- a) essere commestibili — in modo che i suini possano mangiarli e annusarli, preferibilmente con benefici nutrizionali;*
- b) essere masticabili — in modo che i suini possano morderli;*
- c) essere esplorabili — in modo che i suini possano esplorarli;*
- d) essere manipolabili — in modo che i suini possano modificarne la posizione, l'aspetto o la struttura.*

*5. Oltre alle caratteristiche elencate al paragrafo 4, i materiali di arricchimento dovrebbero essere forniti in modo tale da essere:*

- a) di interesse sostenibile, dovrebbero cioè incoraggiare il comportamento esplorativo dei suini ed essere regolarmente sostituiti e aggiunti;*
- b) accessibili per la manipolazione orale;*
- c) forniti in quantità sufficiente;*
- d) puliti e igienici.*

*6. Per soddisfare i bisogni fondamentali dei suini il materiale di arricchimento dovrebbe presentare tutte le caratteristiche elencate ai paragrafi 4 e 5. A tal fine i materiali di arricchimento dovrebbero essere classificati come segue:*

- a) materiali ottimali — materiali che presentano tutte le caratteristiche elencate ai paragrafi 4 e 5 e che quindi possono essere utilizzati da soli;*
- b) materiali subottimali — materiali che presentano la maggior parte delle caratteristiche elencate ai paragrafi 4 e 5 e che quindi dovrebbero essere utilizzati in combinazione con altri materiali;*
- c) materiali di interesse marginale — materiali che costituiscono una distrazione per i suini ma che non dovrebbero essere considerati tali da soddisfare i loro bisogni fondamentali, e quindi dovrebbero essere forniti anche materiali ottimali o subottimali.”*

*Il Manuale Esplicativo per la Valutazione del Benessere Animale (CReNBA & IZSLER, 2019) attraverso uno schema rappresenta esempi di materiali manipolabili con le rispettive caratteristiche attraverso l'utilizzo di un sistema di semafori (Fig. 8).*

Questi arricchimenti possono essere associati tra di loro secondo un principio di complementarità, semplificato con il sistema a semafori riportato nella figura precedente. In relazione al tipo di materiale possiamo distinguere sistemi su lettiera, dove la paglia è distribuita sul pavimento del box.



Questa sembra essere la soluzione preferibile in quanto viene continuamente stimolata l'esplorazione dell'animale. Nessuno studio ha, tutt'ora, definito la quantità minima di paglia in grado di tenere occupato il suino. Sembra però che anche quantità modeste (10-250 grammi/capo) siano in grado di aumentare il tempo speso ad esplorare. Paglia che deve essere aggiunta di frequente, pulita, e priva di muffe e odori sgradevoli. La lettiera fornisce un arricchimento ambientale impareggiabile, in quanto i suini possono manifestare appieno i loro comportamenti naturali. Durante l'inverno fornisce anche un maggior comfort termico. Per contro, un allevamento presenta una maggiore superficie per capo rispetto alle tipologie tradizionali nonché maggiori oneri di manodopera per le operazioni di distribuzione, cura e asportazione. Durante il periodo estivo, inoltre, possono insorgere problemi legati alla difficoltà di dispersione del calore.

Se non è possibile utilizzare la lettiera, la paglia può essere fornita mediante rastrelliere o dosatori, oppure compressa in blocchi o grossi pellets. Gli oggetti, diversi dalla paglia, hanno il vantaggio di poter essere utilizzati in ogni tipologia di stabulazione. In particolare, vengono utilizzati materiali sospesi, fissati al muro o liberi a terra. Gli oggetti sospesi sono più interessanti perché trovandosi a livello della testa del suino, ne richiamano l'attenzione, piuttosto dei materiali a terra che si contaminano velocemente con materiale fecale (Rossi et al., 2013).


Materiale manipolabile		Proprietà del materiale				Categoria
		Commestibile	Masticabile	Esplorabile / Investigabile	Manipolabile	
	Tronchetto di legno duro					Marginale
	Catene					Marginale
	Sale da leccare					Marginale
	Tronchetto di legno morbido					Subottimale
	Corda naturale					Subottimale
	Fieno o Paglia in rastrelliera					Subottimale
	Paglia					Ottimale
	Pellet di paglia					Ottimale
	Lolla di riso					Ottimale

Fig. 8 – esempi di materiali manipolabili e rispettive caratteristiche descritte dal sistema a semafori (CReNBA & IZSLER, 2019)

### 2.1.3 Superfici e pavimentazioni

Un ulteriore aspetto a livello ambientale è rappresentato dal tipo di pavimentazione adottato. Il pavimento delle aree di stabulazione delle porcilaie è il punto di più intimo contatto con gli animali presenti nel box e rappresenta, quindi, un componente fondamentale dell'ambiente dall'allevamento.

Alla tipologia di pavimentazione sono strettamente legate la salute e la produttività dei suini ma anche la produttività del lavoro in base alle modalità di evacuazione delle deiezioni. In genere, un'adeguata pavimentazione zootecnica dovrebbe essere facile da pulire, non scivolosa, non abrasiva, priva di bordi aguzzi o protuberanze, calda e confortevole, resiste e di lunga durata, ed infine di costo contenuto.

Questi concetti sono enunciati nel Decreto Legislativo 122/2011: *" i pavimenti devono essere non sdruciolevoli e senza asperità per evitare lesioni ai suini e progettati, costruiti e mantenuti in modo da non arrecare lesioni o sofferenze ai suini. Essi devono essere adeguati alle dimensioni e al peso dei suini e, se non è prevista una lettiera, costituire una superficie rigida, piana e stabile"*. (D. L. vo 122/2011, allegato 1, parte I, punto 5) (CReNBA & IZSLER, 2019).

Le strutture produttive devono quindi, in primo luogo, essere progettate e gestite per non arrecare danni e lesioni agli animali. I materiali usati per la realizzazione della pavimentazione devono essere di adeguata qualità. Questo perché devono resistere ad un continuo stress fisico-chimico che spesso ne comporta l'usura fino a causare, in alcuni punti, spaccature o rotture della pavimentazione che espone i suini a possibili lesioni.

Il pavimento può essere pieno, fessurato (in calcestruzzo), parzialmente fessurato (in calcestruzzo) oppure grigliato (metallico o materiale plastico). Nel caso in cui, sia presente una pavimentazione totalmente o parzialmente fessurata è necessario verificare che il travetto e la fessura rispettino la normativa vigente per la categoria di suino allevata in quel locale (Tab. 9).

<b>Categoria di peso</b>	<b>Fessure mm</b>	<b>Travetti mm</b>
Lattonzoli (0-10 Kg)	11 (max 13)	50 (min 48)
Svezzati (10-30 Kg)	14 (max 16)	50 (min 48)
Suini all'ingrasso (>30 Kg)	18 (max 21)	80 (min 77)
Scrofe e Scrofette	20 (max 23)	80 (min 77)

Tab. 9 – dimensioni di fessure e travetti per un pavimento fessurato secondo normativa (CReNBA & IZSLER, 2019)

Una pavimentazione fessurata viene realizzata tramite lastre prefabbricate di calcestruzzo armato poste in opera sui muri perimetrali che delimitano le sottostanti fosse di raccolta dei liquami, o su travi sostenute da pilastri. La normativa non considera un aspetto rilevante, ovvero quello della tolleranza dimensionale. Risulta evidente, come un pavimento fessurato essendo un manufatto prefabbricato possa non presentare un elevatissimo livello di precisione nella sua costruzione. Per questo motivo, esiste a livello europeo una specifica norma per quanto riguarda le pavimentazioni prefabbricate utilizzate negli allevamenti zootecnici (EN 12737:2004+A1 - *Precast concrete products - Floor slats for livestock*), adottata dall'Italia come norma UNI EN 12737 (2008). Le tolleranze in questione risultano pari a 2 mm per i piccoli suini e a 3 mm per tutte le altre categorie.

L'impiego dei pavimenti fessurati nell'allevamento dei suini si è sviluppato per esigenze di tipo ambientale, in particolare per limitare l'utilizzo dell'acqua nelle operazioni di pulizia e allontanamento delle deiezioni dalle aree di stabulazione. Infatti, la pulizia definita "a secco" delle porcilaie ha rappresentato un'importante evoluzione nel modo di allevare: alla riduzione dei consumi idrici si aggiunge il vantaggio della minore diluizione dei liquami, con benefici in termini di costi di stoccaggio, trasporto e spandimento sui campi (Rossi et al., 2004).

#### 2.1.4 Densità degli animali in fase di allevamento

Un aspetto da tenere in debita considerazione quando si parla di benessere nei suini è la densità animale, definita come area totale in m<sup>2</sup>/numero di suini presenti nel box. Si tratta della superficie disponibile cioè di tutta l'area che ogni capo può utilizzare per la movimentazione e per il riposo. Fornire uno spazio libero che sia sufficiente a ciascun animale è un requisito fondamentale, come definito nel Decreto Legislativo 122/2011, per il mantenimento di un appropriato livello di benessere. Inoltre, garantisce ad ogni suino la possibilità di poter applicare liberamente la reazione fisiologica del *fight or flight* come risposta in caso di percezione di un evento pericoloso o di attacco. La possibilità di potersi sottrarre ad uno scontro fisico garantisce il mantenimento di un clima di convivenza all'interno di un gruppo di animali. Nei primi giorni dopo la formazione di un gruppo, la creazione di una gerarchia è un fatto naturale ed inevitabile, tuttavia la mancanza di una o più risorse, come ad esempio lo spazio necessario, ne impedisce la stabilità o determina gravi ripercussioni sugli animali di stato gerarchico inferiore.

La normativa definisce valori di densità in base alla categoria distinguendo tra scrofe, scrofette o suini all'ingrasso distinti in base al peso.

Per quest'ultimi, la condizione ottimale che garantisce il rispetto di area minima è stabilita dalla formula  $m^2 = 0,036 (k) \times \text{Peso Vivo}^{0,67}$  contemplando il peso maggiore della categoria. Tuttavia, in caso siano presenti dei problemi di morsicatura della coda, dopo aver migliorato tutti gli altri criteri previsti dalla valutazione del rischio, sarà necessario garantire il rispetto di un'area maggiore, stabilito dalla formula seguente  $m^2 = 0,048 \times \text{Peso Vivo}^{0,67}$ . Tutti i valori, suddivisi per categoria, sono riassunti nelle Tab. 10a – 10b – 10c (CRenBA & IZSLER, 2019).

Suini riproduzione – scrofe/scrofette allevate in gruppo	Superficie libera (mq)			Lati del recinto	
	Libertà limitata	Libertà adeguata	Libertà ottimale	Libertà limitata	Libertà adeguata
Scrofette dopo fecondazione	< 1,64	1,64	> 1,64	< 2,8	2,8
Scrofe	< 2,25	2,25	> 2,25		
Scrofette dopo la fecondazione meno di 6	< 1,80	1,80	> 1,80	< 2,4	2,4
Scrofe meno di 6	< 2,48	2,48	> 2,48		
Scrofette dopo la fecondazione più di 40 animali	< 1,48	1,48	> 1,48	< 2,8	2,8
Scrofe più di 40	< 2,03	2,03	> 2,03		

Categoria di peso	Densità elevata (mq)	Densità adeguata (mq)	Densità ottimale (mq)
0-10 kg	< 0,15	0,15 – 0,17	> 0,17
10-20 kg	< 0,20	0,20 – 0,27	> 0,27
20-30 kg	< 0,30	0,30 – 0,35	> 0,35
30-50 kg	< 0,40	0,40 – 0,50	> 0,50
50-85 kg	< 0,55	0,55 – 0,71	> 0,71
85-110 kg	< 0,65	0,65 – 0,84	> 0,84
>110 kg	< 1,00	1,00 – 1,10	> 1,10

Categoria di peso	Densità ottimale in caso di problema reiterato (mq)
0-10 kg	≥ 0,22
10-20 kg	≥ 0,36
20-30 kg	≥ 0,47
30-50 kg	≥ 0,66
50-85 kg	≥ 0,94
85-110 kg	≥ 1,12
>110 kg	≥ 1,47

Tab. 10a – valori di densità per scrofe, 10b – valori per i suini in base alla categoria di peso, 10c – i valori aumentano nel caso di continui problemi di cannibalismo (CRenBA & IZSLER, 2019)

## 2.2. Controllo e Monitoraggio Animale

### 2.2.1 Tecnologie e Precision Livestock Farming

Le tecnologie e le possibili applicazioni che vengono messe a disposizione degli allevatori emergono costantemente. L'adozione delle tecniche per un allevamento di precisione sembra essere l'approccio più realistico per sostenere gli allevatori, ma in generale tutte le parti interessate nella catena di produzione, nel prossimo futuro. Infatti, attraverso questi strumenti, l'allevatore riesce a mantenere lo "sguardo" sui singoli animali ed ottenere così determinati standard qualitativi, nonostante l'intensificazione della produzione (Berckmans, 2017).

Scopo della PLF (*Precision Livestock Farming*) è quindi quello di raggiungere forme di allevamento che siano economicamente, ambientalmente e socialmente sostenibili attraverso l'osservazione, l'interpretazione dei comportamenti e il controllo anche del gruppo di animali più piccolo. Ciò permette agli allevatori di ridurre i costi relativi all'alimentazione, ai farmaci ed antibiotici e all'energia. Gli operatori possono utilizzare queste tecnologie per monitorare la salute e il benessere degli animali, cercando di garantire a loro una buona vita libera da disagi o malattie. Questi sistemi di precisione hanno lo scopo di tradurre gli output forniti dagli strumenti in utili informazioni per il personale (Buller et al., 2020).

Le tecnologie, messe in commercio, hanno bisogno di una combinazione tra una parte hardware, che sia assemblata in conformità a determinati standard di sicurezza e tecnici, e una parte software che abbia un'interfaccia semplice da utilizzare, che permetta di effettuare un backup dei dati raccolti, che sia presente un sistema di auto accensione nel caso di mancanza di energia elettrica e che vengano forniti, da parte degli installatori, adeguati supporti di utilizzo e il necessario aiuto per la corretta comprensione delle funzioni principali degli impianti.

Purtroppo, i risultati e le potenzialità delle tecnologie della PLF non sono sempre adeguatamente conosciuti a livello produttivo-veterinario. Comunque, non c'è dubbio che la combinazione, tra questi nuovi strumenti a disposizione con la biologia, offrirà nuove ed importanti opportunità per tutto il settore, partendo dall'UE con il miglioramento delle attuali direttive arrivando fino agli operatori finali.

Nella commercializzazione dei sistemi della PLF viene adottato un approccio graduale, partendo da sensori di più "semplice" utilizzo e comprensione come quelli per la gestione del mangime, dell'assunzione di acqua e sistemi di pesatura. Il prezzo di questi dispositivi non è superiore a qualche migliaio di euro per capannone.

Queste tecnologie di precisione forniranno la licenza per produrre e dare una risposta alla crescente domanda di prodotti alimentari sani ed economici (Berckmans, 2004).

Una volta che il settore comincerà a capire quanto siano preziose le informazioni che produce, non solo per loro, ma anche per le altre parti coinvolte nel processo, come aziende mangimistiche, veterinari, aziende di selezione, consulenti, impianti di trasformazione, rivenditori, ma soprattutto i consumatori finali, l'esigenza di raccogliere dati aumenterà in modo esponenziale, con un conseguente approccio, nella produzione animale, che diverrà completamente diverso.

Attraverso la PLF, le tradizionali misurazioni ambientali, come temperatura, umidità e anidride carbonica, sono estese con misure dirette delle risposte degli animali attraverso sensori di ingestione dell'alimentazione, monitor per visualizzare la crescita, telecamere o microfoni. Con l'utilizzo di appositi sensori e con l'ausilio di algoritmi specifici, questi sono in grado di tradurre le risposte del suino in indicatori chiave per performance ottimali. Successivamente, queste tecnologie forniranno un aiuto per l'allevatore nel prendere le quotidiane decisioni gestionali e se qualcosa non dovesse funzionare bene, manderebbero tempestivamente segnali di avviso (Vranken & Berckmans, 2017).

La maggior parte dei sensori di comportamento disponibili in commercio non effettuano un monitoraggio dei singoli suini, ma piuttosto, di alcune aree del box. Nonostante una tendenza crescente per gruppi di animali sempre più grandi con conseguente aumento della superficie dei box, la maggior parte dei suini in Europa sono tenuti in un compartimento formati da gruppi più piccoli (8-25 suini per box). I sistemi generano output più affidabili rispetto all'osservazione effettuata dall'uomo perché sono disponibili 24 ore al giorno e 7 giorni su 7 (Berckmans, 2017).

I sensori, più comunemente, utilizzati per i suini sono i contatori dell'acqua, sensori di peso animale, monitor di alimentazione, sistemi di telecamere per misurare l'attività e la distribuzione degli animali e monitoraggio del suono per le malattie respiratorie.

*L'identificazione dei singoli capi*, all'interno del box, consente agli allevatori di gestire i propri animali come singoli individui piuttosto che come mandrie o gruppi. La cura individuale degli animali potrebbe facilitare la fornitura di diete personalizzate e il controllo ambientale. Entrambi, hanno un importante effetto e quindi si potrebbe ottenere un potenziale miglioramento della produttività e del benessere. L'identificazione individuale e il monitoraggio degli animali è un passo importante, anche verso il

miglioramento della tracciabilità dei prodotti finali lungo la catena di approvvigionamento.

L'identificazione dei singoli animali può essere effettuata facendo ricorso a diversi metodi, riportati in Tab. 11 (Vranken & Berckmans, 2017).

<b>Operating principle</b>	<b>Information carrier</b>	<b>Process</b>	<b>Applications</b>	<b>Advantages</b>	<b>Disadvantages</b>
<b>Optical</b>	Shape	Touching	Processing, fingerprinting	Biological characteristics	Contact required
	Shape and color	Image processing	Processing, iris recognition, animal identification	Universal	Complex
	Number code	Code recognition	Automatic identification	Inexpensive	Complicated, dirties easily
	Barcode	Scanner	Trade goods, barcode on new ear markers	Extremely inexpensive markers	Dirties easily
	Electronics with infrared transfer (active)	Transceiver	Service of electrical equipment, animal identification	Large reading range, easily protectable	Only active systems are possible
<b>Electromechanical</b>	Surface acoustic waves (passive)	Transceiver	Goods identification, animal identification	Inexpensive sensor elements, quickly	Only for short information
<b>Electronic</b>	Transponder (active and passive)	Transceiver	Processing, logistics, vehicle security, animal identification	Universally applicable	Relatively expensive

*Tab. 11 – possibili sistemi per l'identificazione animale (Artmann, 1999)*

È possibile distinguere tra i principi di funzionamento, i supporti informativi e i processi di riconoscimento applicati a diversi sistemi di identificazione elettronica. Si tenta di ricorrere a tutti i possibili approcci disponibili, ad eccezione del riconoscimento della forma attraverso il tatto in quanto molto difficile come tecnologia da applicare per gli animali. Solamente i metodi elettronici sono nella pratica più diffusi e sono diventati l'approccio standard. Il processo di riconoscimento ottico con un codice a barre, come supporto di informazioni, sta acquisendo notevole rilevanza. Nei sistemi di identificazioni su base elettronica è presente un ricetrasmittitore che crea un campo elettromagnetico (campo di attivazione) che viene utilizzato dal transponder per generare la propria tensione operativa e quindi una risposta.

Di transponder ce ne sono di vari tipi e sono disponibili sia in forma passiva che attiva. Attualmente i sistemi elettronici sono gli unici dispositivi di identificazione appropriati per il riconoscimento degli animali (Artmann, 1999).



Il *monitoraggio del consumo d'acqua* è uno dei più semplici ed efficaci strumenti, a disposizione degli allevatori, che possono utilizzare per controllare le prestazioni dei propri animali. I contatori d'acqua forniscono informazioni accurate sul suo utilizzo da parte degli animali.

L'assunzione d'acqua può essere monitorata a diversi livelli, partendo dall'intero capannone, passando per il compartimento o il box, fino a raggiungere il singolo animale. Le differenze tra consumo di acqua previsto e misurato sono immediatamente visibili, consentendo una risposta ed una decisione da parte dell'operatore, prima che eventuali anomalie possano incidere sul benessere o sulla salute degli animali. Uno scostamento nel rapporto tra acqua e mangime all'interno della razione giornaliera è solitamente un segno precoce della comparsa di eventuali problemi di salute.

Inoltre, il sistema avverte quando si attraversa il flusso minimo o massimo, rilevando eventuali blocchi o perdite in una fase molto precoce. La registrazione e il successivo impiego di questi valori legati all'assunzione dell'acqua aiutano anche ad applicare adeguate strategie di interventi veterinari.

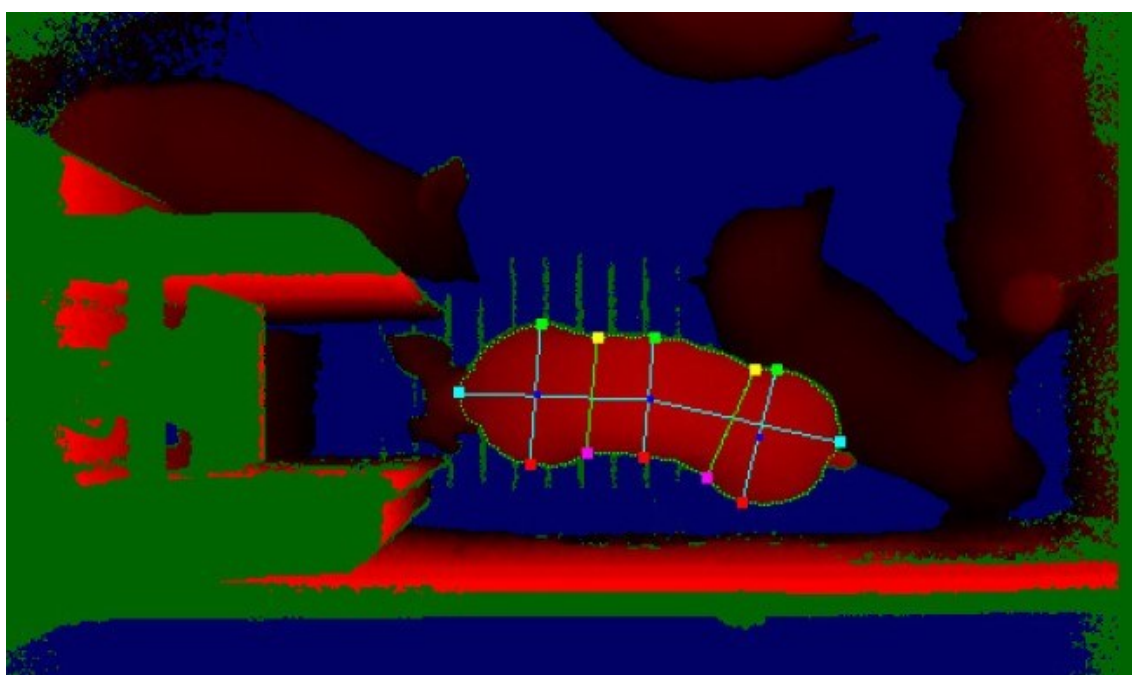
I vaccini sono solitamente distribuiti mediante l'ausilio di acqua potabile, e quindi è importante per l'allevatore sapere esattamente, o almeno farsi un'idea, di quando il consumo di acqua è al massimo livello durante il giorno (Vranken & Berckmans, 2017).

*Sistemi di pesatura*: la chiave per l'ingrasso dei suini è ottimizzarne le prestazioni di crescita. Pertanto, un metodo accurato e non invasivo che permetta di pesare gli animali, su base regolare senza la necessità di input di manodopera, è uno strumento pertinente per i produttori. Diversi gruppi di ricerca hanno tentato di sviluppare un sistema di pesatura dei suini basato sull'analisi dell'immagine.

L'importanza di questa pratica, in fase di sviluppo e perfezionamento nel settore agricolo, aumenta di giorno in giorno, soprattutto nell'ambito dell'industria zootecnica, grazie alla capacità delle applicazioni di visione artificiale di acquisire importanti informazioni relative alla competitività dell'azienda, quali la salute, l'efficienza di crescita, il peso e la composizione delle carcasse degli animali (Banhazi & Black, 2009).

Più recentemente, sono stati introdotti diversi sistemi commerciali (*Weight-Detect by PLF-Agritech*, *eYeScan by Fancom BV*, *Pigwei by Ymaging*, *Optiscan*, *Grostat*, e *WUGGL*) (Vranken & Berckmans, 2017). Il principio del rilevamento automatico del peso mediante analisi di immagini video è, in teoria, piuttosto semplice, ma in pratica, risulta essere più complesso. Innanzitutto, perché il corpo del maiale deve essere

segmentato dal box sullo sfondo nel quale si trova. In secondo luogo, le caratteristiche del corpo del suino sono determinate sull'animale segmentato e queste sono utilizzate per calcolarne le particolarità quali l'area del corpo, la lunghezza, la larghezza, ecc. Per finire, queste informazioni saranno poi correlate al peso corporeo dell'animale attraverso un sistema matematico come, per esempio, un modello di regressione lineare. Gli attuali sistemi commerciali raggiungono una precisione inferiore a 1,5 kg. La Fig. 9 mostra l'output fornito dal sistema *eYeScan*, per ottenere il peso del maiale utilizzando il riconoscimento video di immagini 3D.



*Fig. 9 – immagine 3D del sistema eYeScan che mostra le fasi del processo dove le caratteristiche corporee sono determinate per calcolare lunghezza, larghezza e area del corpo del suino (Vranken & Berckmans, 2017)*

Il sistema comprende un modulo hardware, con un particolare software per l'elaborazione delle immagini al quale possono essere collegate al massimo quattro telecamere. Il software di analisi consente il monitoraggio continuo della crescita di un gruppo di animali (Vranken & Berckmans, 2017).

In Fig. 10 è possibile osservare la proposta messa sul mercato da una nota azienda del settore. Questo dispositivo definito *WeightCheck* permette di rilevare il peso medio del gruppo in suini da ingrasso.



*Fig. 10 – dispositivo WeightCheck messo in commercio da Big Dutchman (Big Dutchman)*

L'intelligenza artificiale e le immagini (da 10.000 a 20.000 al giorno) utilizzando uno speciale algoritmo di autoapprendimento, forniscono una panoramica precisa dell'andamento della crescita (*Big Dutchman*).

Per una misurazione più rapida e senza contatto delle dimensioni del corpo dei suini è stato proposto e sperimentato anche l'utilizzo di una telecamera di profondità Microsoft Kinect v1, a basso costo per misurazioni rapide (Pezzuolo et al., 2018).

*Sistemi per il monitoraggio del comportamento animale: eYeNamic* è un sistema utilizzato sia negli allevamenti di suini che avicoli. Viene impiegato per monitorare il comportamento dei suini nel box. Questo strumento è basato su una telecamera che viene posizionata con un'angolazione in prospettiva dall'alto verso il basso e genera una visuale della superficie del box. Il software di analisi traduce le immagini acquisite in indici di distribuzione e attività. Questi sono una misura della posizione e del movimento dell'animale, e quindi del comportamento che esso assume all'interno del box (Fig. 11). La tecnologia di elaborazione delle immagini e il modello matematico portano a un monitoraggio più frequente delle risposte relative alla salute e al benessere degli animali da allevamento (Kashiha et al., 2014). I cambiamenti di attività, che si potrebbero osservare, possono essere causati da comportamenti anomali dovuti ad aggressioni, zoppie o altri problemi di locomozione (Viazzi et al., 2014).

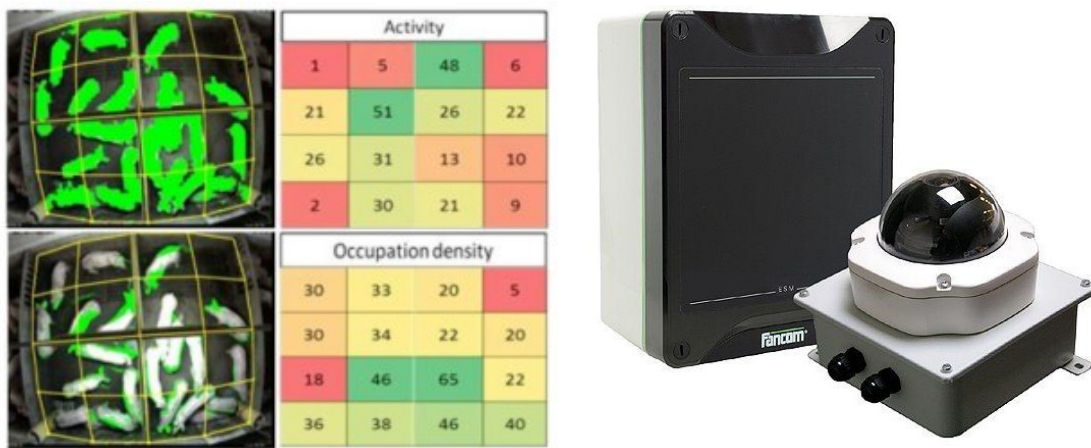


Fig. 11 – sistema eYeNamic per fornisce l’output per monitorare i livelli di attività e occupazione all’interno del box (Vranken & Berckmans, 2017)

Fin dall’inizio degli anni '90, l’analisi dei versi animali ha svolto un ruolo importante nella comprensione della salute, del comportamento e del benessere del bestiame. Le vocalizzazioni degli animali possono contenere diverse informazioni come per esempio segnalare minacce, scegliere e riconoscere i “compagni” nel box o, nel caso delle scrofe, avvisare i neonati di allattare. Quindi, i segnali contenuti nei versi o nei suoni di altri animali potrebbero fornire informazioni preziose per l’operatore.

*Monitoraggio delle problematiche respiratorie:* Problemi di tipo respiratorio sono spesso associati ad un cambiamento dei versi e purtroppo, sono molto comuni negli allevamenti di suini, con conseguenti perdite economiche. Saperli identificare e trattarli tempestivamente è fondamentale per ridurre i danni e la quantità di antibiotici utilizzati per curare. La segnalazione precoce dell’allarme così risulta essenziale per avere il minor numero possibile di animali infettati ed agire il più rapidamente possibile (Ferrari et al., 2008).

Il Pig Cough Monitor è uno strumento per il monitoraggio automatico e continuo della tosse in un allevamento di suini (a livello di compartimento).

Può essere utilizzato come dispositivo di allarme precoce, ed è possibile anche dimostrare gli effetti del trattamento e delle misure preventive prese per contrastare i problemi (ad esempio, differente efficacia tra diversi vaccini). Lo sviluppo di software che segnalano rapidamente un’eventuale anomalia, con conseguente allarme, consente l’analisi automatizzata dei dati PLF.

Questo porterà automaticamente l'operatore verso lo specifico problema quando si verifica (Fig. 12). L'allevatore non dovrà rovistare tra tutti i dati per eseguire un'analisi accurata perché è stata eseguita dal software (Vranken & Berckmans, 2017).

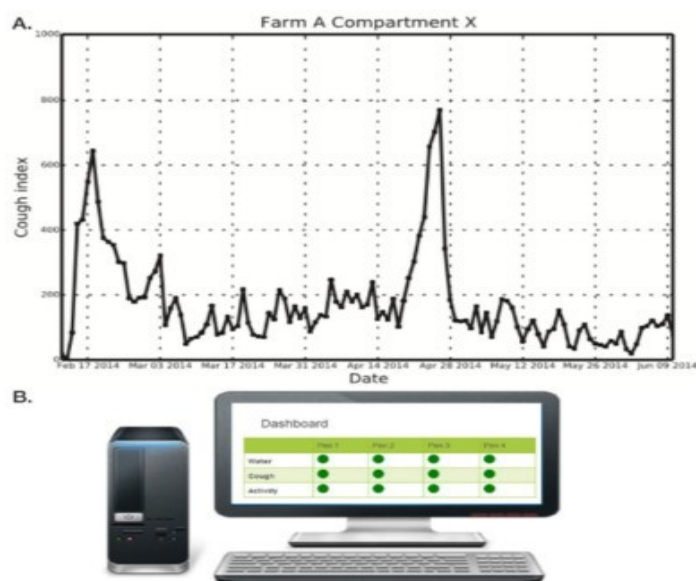


Fig. 12 – A. numero di versi registrati all'interno di box con un evidente problema attorno al 19 Apr. 2014, B. esempio di cruscotto per evidenziare immediatamente eventuali anomalie (Vranken & Berckmans, 2017)

C'è un crescente interesse nel monitoraggio automatizzato del benessere dei suini. Questa condizione di salute è multifattoriale ed è, quindi, difficile da misurare. Il progetto di ricerca europeo Welfare Quality (Welfare Quality®, 2009) ha sviluppato un protocollo di valutazione della qualità del benessere. Questo protocollo è, come molti progetti per il benessere degli animali, basato sulle Cinque Libertà definite in letteratura.

I criteri e i principi di benessere utilizzati e descritti dal protocollo di valutazione della qualità sono: *“Questa valutazione del benessere è effettuata da un esperto addestrato. Dopo una visita ad un'azienda agricola (circa tre ore per capannone), questo esperto è in grado di calcolare un punteggio di benessere oggettivo in base ai criteri di benessere (welfare principle) riferiti per quella particolare azienda.”* Si tratta di un processo lungo e complicato e fornisce solamente un'istantanea dello stato degli animali.

L'allevamento di precisione offre la possibilità di automatizzare questa operazione. Molti sensori esistono già oggi per automatizzare la valutazione dei diversi criteri di benessere, come la fame, la sete e il comfort termico. Altri principi possono essere ricavati indirettamente dalle misurazioni automatizzate della PLF.

La ricerca si sta concentrando sulla valutazione oggettiva dei diversi parametri sulla base delle misure ricavate dai sensori PLF.

L'obiettivo finale dovrebbe essere lo sviluppo di un cruscotto basato sui principi e criteri di benessere enunciati dal protocollo di valutazione della qualità come in Tab. 12. In questo modo, il benessere degli animali è valutato oggettivamente e quotidianamente e senza la necessità del sopralluogo di un esperto. Nella Fig. 13 è possibile osservare un esempio di panoramica per valutare i parametri di benessere (Vranken & Berckmans, 2017).

Welfare Principle	Welfare Criteria
Good Feeding	Absence of prolonged hunger
	Absence of prolonged thirst
Good Housing	Comfort around resting
	Ease of movement
Good Health	Absence of injuries
	Absence of disease
	Absence of pain induced by management procedures
Appropriate Behavior	Expression of social behaviors
	Expression of other behaviors
	Good human-animal relationship
	Positive emotional state

Tab. 12 – criteri di benessere applicati nel protocollo Welfare Quality (Welfare Quality ®, 2009)

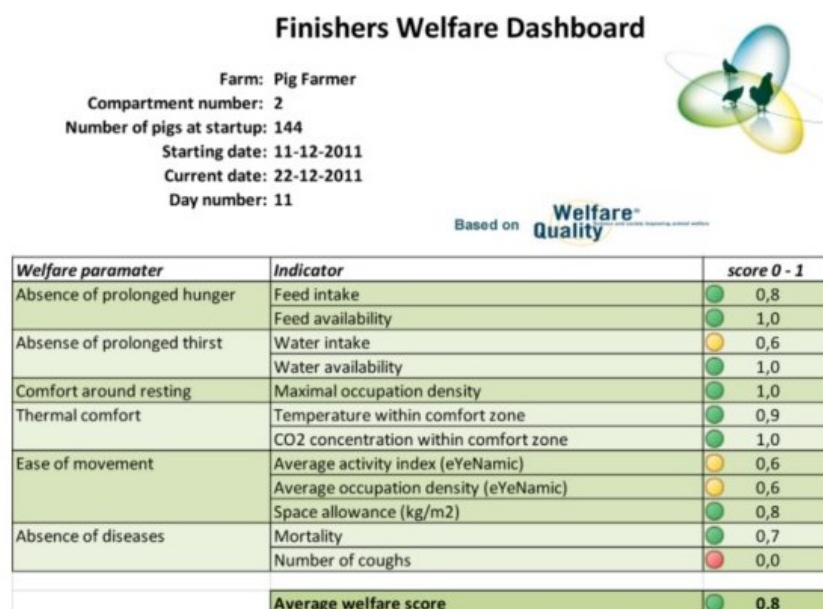


Fig. 13 – esempio di valutazione in tempo reale delle condizioni di benessere con l'ausilio di sistemi di misurazione automatici (Vranken & Berckmans, 2017)

Un altro strumento che si sta diffondendo è l'*accelerometro*. Questo misura la variazione di velocità e la componente di accelerazione statica della gravità. La posizione del sensore può essere determinata con elevata precisione quando non è in movimento. Se il dispositivo dovesse essere in movimento, la posizione potrebbe essere calcolata solo se l'orientamento del sensore rispetto alla gravità è noto. Le unità di misura inerziale (IMU) costituite da accelerometri e giroscopi a tre assi possono essere utilizzate per misurare la traiettoria precisa del movimento. A differenza degli accelerometri, gli IMU possono misurare sia l'accelerazione lineare che quella angolare.

Questi strumenti attaccati agli animali hanno visto un aumento del loro utilizzo nell'ultimo decennio, in quanto la tecnologia è migliorata ad un livello tale per cui può essere raggiunta una durata ragionevole della batteria anche utilizzando sensori abbastanza piccoli da essere applicati alle gambe, al collo, alle orecchie o alle code degli animali; per esempio, gli accelerometri sono stati anche collegati alle pinne dorsali dei pesci.

La sfida principale in molti sistemi di ricerca è che sono necessari tassi di campionamento abbastanza elevati, che vanno a limitare la durata della batteria del sensore. Una soluzione al problema potrebbe essere programmare il dispositivo per effettuare i calcoli senza trasmettere o memorizzare i dati. Tuttavia, i dispositivi incorporati a bassa potenza hanno una potenza computazionale e di calcolo limitata, che a sua volta riduce la complessità degli algoritmi che possono essere utilizzati.

Con l'evolversi della tecnologia delle batterie e la diminuzione del consumo di energia dei dispositivi elettronici, i futuri sensori saranno in grado di effettuare analisi e misurazioni più sofisticate.

Gli accelerometri sono stati utilizzati in modo simile nei suini come nei bovini: i sensori auricolari possono classificare automaticamente il comportamento della scrofa, mentre i dispositivi attaccati alla gamba o alla schiena dell'animale possono indicarne la postura. Diversi progetti si sono focalizzati anche sulla previsione del parto, a causa di un aumento considerevole dell'attività della scrofa in relazione al comportamento di costruzione del nido quando si è prossimi al parto. È stata raggiunta un'elevata precisione nel rilevare questo tipo di atteggiamento da parte dell'animale. Tuttavia, il momento esatto del parto può essere rilevato solo in una finestra di 6-24 ore. Gli accelerometri sono stati utilizzati anche per misurare l'andatura e i cambiamenti comportamentali associati ad eventuali zoppie nelle scrofe (Halachmi et al., 2019).

## 2.2.2 Tecniche e Sistemi di alimentazione automatica

La sempre maggiore diffusione di nuove ed avanzate tecnologie anche in campo zootecnico ha reso disponibili nuove soluzioni impiantistiche, per lo più sviluppate attualmente nei paesi del centro e nord Europa, per l'alimentazione delle scrofe e dei suini da ingrasso. Gli aspetti innovativi sono da ricercarsi soprattutto nella migliore gestione e nel più efficace controllo del processo di alimentazione con vantaggi in termini di minori sprechi e migliore assunzione del mangime da parte degli animali. Tutti aspetti da tenere particolarmente in considerazione, visto il vertiginoso aumento dei prezzi delle materie prime (Hartung et al., 2017).

Molti sistemi si prefiggono l'obiettivo di assecondare il comportamento naturale dei suini durante l'assunzione dell'alimento. Vi sono diversi sistemi che potrebbero essere utilizzati:

- impianti per l'autoalimentazione delle scrofe allevate in gruppo
- alimentazione a fissaggio biologico per scrofe allevate in gruppo
- alimentazione a richiesta
- alimentazione liquida *ad libitum*
- alimentazione *ad libitum* secco/liquido

Negli impianti di autoalimentazione delle scrofe allevate in gruppo (Fig. 14) si cerca di unire i vantaggi della stabulazione collettiva con quelli di un'alimentazione singola precisa e programmata.

Sono stati ideati principalmente per essere utilizzati con le scrofe gestanti stabulate in gruppo. Gli elementi essenziali che compongono questo tipo di impianto sono:

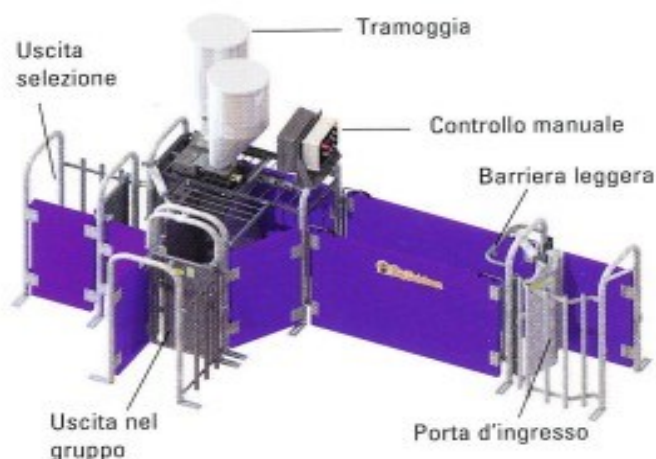
- la stazione di alimentazione composta dalla mangiatoia sormontata dalla tramoggia per il mangime, dalla gabbia di alimentazione e dal ricevitore-trasmittitore che manda al microprocessore il segnale emesso dal *transponder*;
- la piastra magnetica (*transponder*) a collare o collocata sull'orecchio o, ancora, inserita sottocute per l'identificazione di ciascuna scrofa;
- il computer che controlla l'impianto e che fornisce i dati gestionali (consumi di mangime, allarmi per scrofe inappetenti, ecc.)

Il ciclo d'alimentazione del singolo capo prevede, solitamente, l'ingresso della scrofa nella stazione di autoalimentazione, la chiusura del cancello posteriore, l'identificazione dell'animale, la distribuzione della quota di mangime attribuita ed infine l'uscita da un cancello anteriore.



Con questo sistema, l'alimento può essere distribuito automaticamente durante tutto l'arco della giornata, con il vantaggio di una corretta alimentazione individuale delle scrofe, in relazione al peso, allo stato sanitario e allo stato produttivo.

Il computer restituisce automaticamente e giornalmente informazioni relative ai soggetti che non hanno consumato la quantità di mangime prevista, alle scorte alimentari presenti negli stoccaggi, al consumo totale di alimento e ai consumi unitari per le singole scrofe. Ciascun autoalimentatore è in grado di servire gruppi di 30-40 scrofe (Rossi et al., 2004).



*Fig. 14 – esempio di stazione di alimentazione (Big Dutchman)*

I principali vantaggi derivanti da questo sistema sono l'assunzione della razione senza competizione e quindi uno stato di benessere maggiore (CReNBA & IZSLER, 2019), il controllo dello stato sanitario delle scrofe attraverso i dati forniti dal computer ed il limitato spreco di mangime.

Uno dei problemi che si possono presentare nell'impiego di questo sistema è rappresentato dalla difficoltà di adattamento delle scrofe a questo tipo di attrezzatura, per cui è consigliato formare gruppi misti formati da animali alla prima esperienza con l'autoalimentatore e animali veterani.

Alimentazione a fissaggio biologico: Com'è noto uno dei principali svantaggi della stabulazione collettiva è la maggiore difficoltà di alimentare correttamente tutti gli animali del gruppo, a causa della naturale competizione al truogolo e della presenza di animali particolarmente aggressivi che impediscono l'accesso all'alimento a quelli più timidi. Una possibile soluzione, per limitare questo problema, è la distribuzione lenta ma

costante del mangime per ogni posto di alimentazione, circa 100g/min, al fine di impedire che le scrofe più voraci cerchino nuovo alimento nel posto occupato dalle altre.

Il tentativo è quello di “fissare” biologicamente le scrofe alla mangiatoia, in modo che ciascuna possa assumere indisturbata la propria razione di mangime (Fig. 15).

Gli impianti proposti sono per lo più costituiti da una linea principale di distribuzione del mangime secco, da tanti dosatori individuali quanti sono i posti di alimentazione previsti (uno per ogni scrofa del gruppo), da una seconda linea di distribuzione posizionata al di sotto dei dosatori e dalle calate ai singoli punti di distribuzione. Le mangiatoie adottate possono essere di tipo individuale, oppure si utilizzano truogoli lineari provvisti di divisori perché è essenziale impedire il contatto tra gli animali.

È un sistema che consente di distribuire l'alimento secco a gruppi di 8-12 scrofe, con costi d'investimento abbastanza contenuti e senza il ricorso a poste singole di alimentazione (Rossi et al., 2004).



*Fig. 15 – impianto di alimentazione a fissaggio biologico per scrofe allevate in gruppo (Big Dutchman)*

Il sistema di alimentazione a richiesta invece ha l'obiettivo di tenere in considerazione la fisiologia digestiva e il comportamento del suino, consentendogli di esprimere al meglio il suo potenziale genetico e ottenendo così migliori performance produttive. Questa tecnologia prevede una distribuzione dell'alimento in pasti, ma il consumo di mangime per ogni pasto è definito alla volontà dei suini.

I modelli d'impianto disponibili si diversificano per la categoria di animale alla quale sono destinati: suinetti svezzati fino ad un peso di 40-50 kg o suini all'ingrasso leggeri o pesanti.

L'alimento è trasferito verso i singoli box mediante un sistema di trasporto a tubazione, dal quale si dipartono le calate che arrivano direttamente ai truogoli; questi sono del tipo circolare (Fig. 16) e sono fissati a terra al centro di ogni box.

Sono provvisti di divisori per delimitare i posti di alimentazione e presentano centralmente un particolare dispositivo a rotore avvolgente la parte terminale del tubo di calata che, ruotando in seguito all'azione del grugno dei suini, provoca la caduta del mangime. Ciascun truogolo è dotato di abbeveratoi collocati al di sopra della testa dei suini. In tal modo i maiali mangiano e bevono nel medesimo posto.



Fig. 16 – esempio di sistema di alimentazione Rondomat (Fancom)

L'aspetto particolare di questo impianto deriva dal fatto che mangime ed acqua restano a disposizione degli animali per periodi prefissati nell'arco della giornata. Questo è reso possibile da un timer che, in base al programma prestabilito, regola il numero di pasti nella giornata e la loro durata, comandando il funzionamento dei sistemi di trasporto del mangime e dell'impianto idrico, nonché l'accensione e lo spegnimento delle luci.

L'illuminazione del locale e il rumore delle parti meccaniche che si mettono in movimento vengono presto identificati dai suini come segnali di inizio pasto.

Fra i principali vantaggi rispetto ai metodi tradizionali di alimentazione si possono nominare: una migliore utilizzazione degli alimenti dovuta alla regolare suddivisione dei pasti. Gli intervalli di riposo fra un pasto e l'altro favoriscono una digestione ottimale. Oltre al fatto che c'è una minore competitività e una diminuzione del consumo complessivo di acqua e mangime (Rossi et al., 2004).

Il sistema ad alimentazione *ad libitum* è stato messo a punto per permettere la somministrazione automatica a volontà dell'alimento in forma liquida. L'impianto prevede una vasca di preparazione con relativo organo di miscelazione e una pompa che

provvede al prelievo del pastone e alla sua immissione nella rete di distribuzione. Quest'ultima è generalmente costituita da tubazioni in PVC e prevede un circuito di andata e ritorno.

Dal condotto principale si distaccano le singole calate che alimentano i truogoli. Questi sono di tipo doppio. Le caratteristiche fondamentali dell'impianto sono da ricercare nella parte elettronica, che prevede un'unità centrale e tante unità periferiche quanti sono i truogoli. Il nucleo centrale è costituito da un elaboratore elettronico che controlla il funzionamento dell'impianto e che consente l'impostazione del piano alimentare. Si possono impostare quattro pasti giornalieri di qualsivoglia durata.

Il computer controlla anche il riempimento della vasca di miscelazione, richiamando dai silos i diversi componenti della razione e i tempi di miscelazione della broda.

Le centraline periferiche, montate sui tubi di calata, permettono mediante apposito regolatore di variare la quantità di pastone da distribuire in ogni truogolo. Inoltre, sono in grado di comunicare al computer se il rispettivo truogolo ha bisogno di essere rifornito o meno. Questo è possibile grazie ad una sonda posta all'interno del truogolo e da una seconda asta applicata a fianco della calata (Fig. 17a e 17b).



*Fig. 17a – somministrazione dell'alimento liquido, 17b – vista di un impianto di alimentazione (Cima)*

Il computer invia, ad intervalli prestabiliti, dei segnali di controllo a ciascuna centralina: se all'interno del truogolo vi è sufficiente pastone da immergere le sonde, l'impulso passerà dall'una all'altra sonda ritornando alla centralina e quindi al computer, identificandosi come risposta negativa alla domanda del computer. Se, al contrario, la quantità di broda nel truogolo è scarsa, l'impulso elettrico non potrà ritornare al computer e ciò equivarrà a una richiesta di pastone.

È un tipo di impianto che si propone come alternativa alla tradizionale somministrazione razionata di pastone nei truogoli. Uno dei vantaggi più evidenti è la maggiore tranquillità degli animali all'interno del box. Mentre un limite evidente è la più difficoltosa individuazione precoce di eventuali forme patologiche in uno o più soggetti del gruppo (Rossi et al., 2004).

L'ultimo sistema è stato proposto recentemente da alcune ditte e consente ai suini di consumare a piacimento mangime secco oppure liquido. L'attrezzatura predisposta per la somministrazione dell'alimento agli animali è costituita da un piatto dispensatore e da due mangiatoie a vaschetta poste lateralmente (Fig. 18). Un tubo di calata regolabile in altezza versa il mangime secco sul piatto e il flusso di farina è proporzionale all'altezza prescelta. Al di sopra di ciascuna mangiatoia è posizionato un abbeveratoio azionato dal suino, l'acqua erogata si raccoglie nel contenitore e può essere bevuta successivamente. Le mangiatoie esistono nella versione doppia accessibile da entrambi i lati e nella versione singola. Sono disponibili differenti modelli in commercio a seconda della fase di crescita.



*Fig. 18 – esempio di mangiatoia “mangia/bevi” (Big Dutchman)*

Gli animali possono consumare direttamente il mangime secco versato sul piatto, oppure spingere la farina fin dentro la vaschetta e assumere un alimento umido.

Il sistema, studiato per lo svezzamento e l'ingrasso di suini leggeri, oltre a lasciare all'animale la scelta del tipo di mangime, asseconda il suo istinto di grufolazione (Rossi et al., 2013).

Oltre agli allevamenti, diverse aziende di selezione genetica in tutto il mondo utilizzano alimentatori elettronici per testare il comportamento alimentare, la crescita e le prestazioni delle loro razze. Dato che i dati raccolti da questi sistemi tendono ad essere molto accurati e hanno un grande potenziale nel monitorare il comportamento sociale dei suini se combinati con altri sensori (Tzanidakis et al., 2021).

Inoltre, molte unità commerciali hanno installato tali sistemi per una varietà di scopi come il rilevamento di disturbi della salute come comportamenti anomali che sfociano in casi di cannibalismo (Wallenbeck & Keeling, 2013), misure di assunzione del mangime e controllo del mangime con stima della qualità della carne.

### **2.3. Controllo Gestionale**

Le tecnologie applicate nell'allevamento di precisione mirano a sviluppare sistemi di gestione completamente automatizzati e continui. Ciò significa che verranno raccolti dati e forniranno informazioni, sempre più dettagliate, agli operatori per poter operare nel miglior modo possibile. L'enormità di valori disponibili sarà convogliata verso un software gestionale cioè un programma che consente l'automazione di alcuni processi aziendali e ciò permetterà di organizzare il lavoro e la produzione in maniera più efficace. Una delle principali sfide sarà l'integrazione e gestione dei database con le abitudini degli operatori. Sono in continuo sviluppo nuovi metodi di visualizzazione ed elaborazione di dati da fonti diverse per poter coordinare tramite un unico software semi-automatico i diversi processi aziendali (OECD, 2009). L'utilizzo di queste tecnologie sostituirà, anzi meglio dire aiuterà, tutti gli addetti lungo la filiera di produzione e saranno gli occhi e le orecchie degli allevatori che continueranno a monitorare con i loro animali.

Tuttavia, i produttori rimangono il fattore più importante. Devono prendere decisioni e agire, poiché la tecnologia offre solo uno strumento di supporto tramite, per esempio, un cruscotto che fornisce informazioni e allarmi basati sul monitoraggio continuo degli animali. Non ultimo se dovranno interagire con questi nuovi sistemi, dovranno acquisire le nozioni e le competenze per poterli gestire senza particolari problemi e per trarne tutti i vantaggi che ne derivano dal loro utilizzo.

Per ottenere risultati rapidi, tuttavia, sarà necessario riunire una serie di discipline per creare nuove e proficue sinergie tra un'ampia gamma di competenze associate a svariate specialità del settore come quelle veterinarie, agricole, etologiche, mediche, fisiche, matematiche, ingegneristiche e altre.

La tecnologia per l'allevamento di precisione ha chiaramente un grande potenziale per creare valore aggiunto per i molti soggetti coinvolti nel comparto, in particolare come strumento di gestione per gli allevatori, consentendo di migliorare il benessere degli animali, la salute, l'efficienza e l'impatto ambientale (Marinello & Pezzuolo, 2017).

Negli ultimi anni, molti ricercatori stanno studiando e valutando la possibilità di applicare tecnologie avanzate nella gestione dell'intera filiera agroalimentare.

Gli sviluppi avuti nei settori dei dispositivi di rete, dei sensori e delle tecniche di comunicazione possono svolgere un ruolo significativo nella sostenibilità dei prodotti animali. In particolare, la blockchain ha attirato un notevole interesse come tecnologia con applicazioni sconvolgenti in diversi settori. Questa altro non è che un protocollo di comunicazione in rete, basato su un database diffuso che immagazzina registrazioni e mantiene un elenco in continua crescita di rilevazioni dei dati, su diversi computer collegati simultaneamente.

Questo approccio copre l'intero processo produttivo, con la possibilità di attuare un sistema di tracciabilità della catena di approvvigionamento dei prodotti animali, al fine di migliorare anche la sicurezza e la qualità degli alimenti, caratteristiche che sempre più spesso vengono richieste dal consumatore finale. Durante l'intero ciclo di produzione vengono raccolti dati in ogni anello della filiera e tutto ciò viene monitorato, riportato e gestito per avere un prodotto che rispecchi il concetto del *"from farm to fork"*. Ciò permetterà di ridurre le asimmetrie informative lungo la catena. La tracciabilità, che significa "l'abilità di tracciare e seguire un cibo, alimento, prodotto di origine animale o ingrediente lungo tutte le fasi di produzione e distribuzione", e l'identificazione degli animali sono essenziali per rispondere a queste esigenze (Marinello & Pezzuolo, 2017).

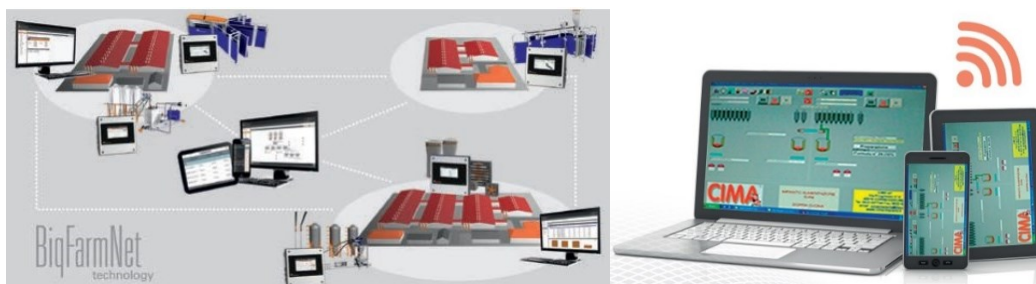
I metodi tradizionali per riconoscere un animale sono solitamente segni sul corpo, marchi auricolari o normali etichette. Tuttavia, si stanno introducendo e sviluppando nuove tecnologie di identificazione degli animali come RFID, codici a barre oppure lettori delle impronte o della retina.

RFID (*Radio-Frequency IDentification*) utilizza campi elettromagnetici per trasferire dati. È un sistema di riconoscimento e validazione e/o memorizzazione automatica a distanza. Il salvataggio delle informazioni avviene in particolari dispositivi elettronici passivi, capaci di rispondere a chiamate di prossimità da parte di lettori. Il *Quick Responde code* (codice QR) invece è il codice a barre più comunemente usato e può contenere informazioni relative al prodotto. Il consumatore può scannerizzare il codice, con un cellulare, e istantaneamente può tracciare quel determinato articolo (Kumar et al., 2009).

Molti dei dati disponibili agli operatori sono già registrati automaticamente dai computer di controllo e successivamente raccolti e archiviati. Ogni ditta costruttrice dei propri impianti fornisce i relativi programmi di gestione e controllo (Costa et al., 2013). Questi cercano di soddisfare tutte le esigenze degli operatori, con report esportabili e apparecchiature predisposte all'interconnessione.

Si tratta di sistemi con diverse possibilità di configurazione a discapito dell'utente finale. Inoltre, possono essere interfacciati ai comuni dispositivi elettronici, cellulari o tablet, per una gestione da remoto da parte dell'operatore.

Si cerca di rendere i programmi semplici ed intuitivi per precise valutazioni. Tutti i dati sono al sicuro, in quanto vengono effettuati periodi backup. Inoltre, tutte le interfacce sono identiche su ogni Pc (Fig. 19a e 19b).



*Fig. 19a e 19b – esempi di due programmi gestionali forniti dalle ditte Cima e Big Dutchman (Cima, Big Dutchman)*

Ciononostante, nella pratica gli allevatori difficilmente utilizzano queste informazioni a loro disposizione. Di conseguenza, si possono verificare perdite, anche significative, di denaro perché gli scostamenti nel processo di produzione non si notano o si notano troppo tardi. Tuttavia, la sfida più grande con PLF è quello di convertire questa quantità crescente di dati in informazioni utilizzabili in modo che, durante la giornata, l'allevatore possa utilizzarle direttamente per gestire le operazioni (Tzanidakis et al., 2021).

Analizzando i dati provenienti dai vari sistemi PLF con un modello predittivo, è possibile rilevare automaticamente le deviazioni tra i valori attesi e quelli misurati.

Il valore aggiunto è creato dagli algoritmi che traducono l'output dei sensori in informazioni utili per gli operatori che dovranno successivamente intervenire.

È stato dimostrato che le misurazioni relative ad un mutamento nel comportamento animale (monitorato con una telecamera) o malattie respiratorie (misurate con un microfono) sono indicatori di prestazioni rilevanti. I cambiamenti si verificano principalmente in seguito a guasti tecnici negli impianti per l'erogazione dei mangimi, per l'acqua o per il controllo ambientale, a causa della comparsa di malattie negli animali, o come conseguenza di inappropriate decisioni gestionali, come per esempio, modifiche improvvise nei sistemi di ventilazione (Vranken & Berckmans, 2017).

Gli avvisi che si generano in seguito ai cambiamenti nel comportamento degli animali possono essere segnalati su apposite dashboard su PC o dispositivi mobili controllati da remoto. Gli allevatori sono direttamente guidati alla localizzazione del problema,



risparmiando così tempo ed evitando notevoli perdite di produzione. Questo permetterà la creazione di un protocollo di intervento da parte degli operatori.

Un esempio di protocollo di allarme rapido è presentato nella Fig. 20 che descrive l'assunzione di acqua dei suini. Si fa riferimento a dati storici per poter prevedere una situazione di preallarme. Quando i dati misurati si trovano al di fuori dell'intervallo del comportamento previsto (colore rosso), viene segnalato un avviso. Questo avvertimento può essere importante ed urgente, il che significa che verranno inviati un messaggio di testo o e-mail all'operatore per agire immediatamente. L'avviso può anche essere meno pressante, il che significa che viene inviata una notifica di questo allarme all'interno di una lista.



Fig. 20 – Monitoraggio dell'assunzione di acqua (Vranken & Berckmans, 2017)

Gli allevatori possono accedere a questo elenco quando vogliono, preferibilmente è meglio controllare una volta al giorno, per affrontare tutte le situazioni di allarme all'interno dei loro allevamenti. Il tipo di azione da intraprendere dipenderà dal tipo di avviso e dalla variabile che sta causando l'allarme.

È stato studiato anche un algoritmo per il monitoraggio della tosse nei suini, per poter intervenire quando vi sono situazioni anomali che generano così avvertimenti. Ci si è basati sui principi del controllo di processo statistico (SPC) su dati della tosse nei suini.

La procedura per generare gli allarmi è stata basata sul confronto dei punti tra i dati raccolti con i limiti di controllo basati sulla media e sulle deviazioni standard corrispondenti. Così, con livelli di tosse elevati, compare l'avviso quando il punto attraversa il limite di controllo (Vranken & Berckmans, 2017).

### **3. OBIETTIVI**

Nel presente lavoro di tesi si è eseguito un monitoraggio ambientale attraverso sensori ambientali, ottici e termici in un allevamento suinicolo avente box stabulativi caratterizzati dalla dotazione di un diverso livello di materiali di arricchimento.

Il settore considerato ai fini della prova è stato quello di post-svezzamento per i suinetti svezzati e fino al raggiungimento dei 30 kg di peso vivo. Il monitoraggio è stato applicato a 4 differenti tipologie di arricchimenti: paglia su tappetini, rastrelliere contenenti paglia, catena più legno ed infine corda.

Il monitoraggio ambientale è stato accompagnato anche da periodiche misurazioni visive dei suini all'interno dei box con contemporanea annotazione dei principali eventi e operazioni eseguite sugli animali. Inoltre, sono stati utilizzati i dati raccolti dal sistema gestionale aziendale relativi all'alimentazione.

L'obiettivo della tesi è stato quello di monitorare il livello di movimento e aggressività, in particolare la morsicatura della coda, in funzione dei diversi materiali di arricchimento messi a disposizione dei suini. Questo si ripercuoterà anche sugli indici produttivi con differenti pesi finali raggiunti dagli animali.

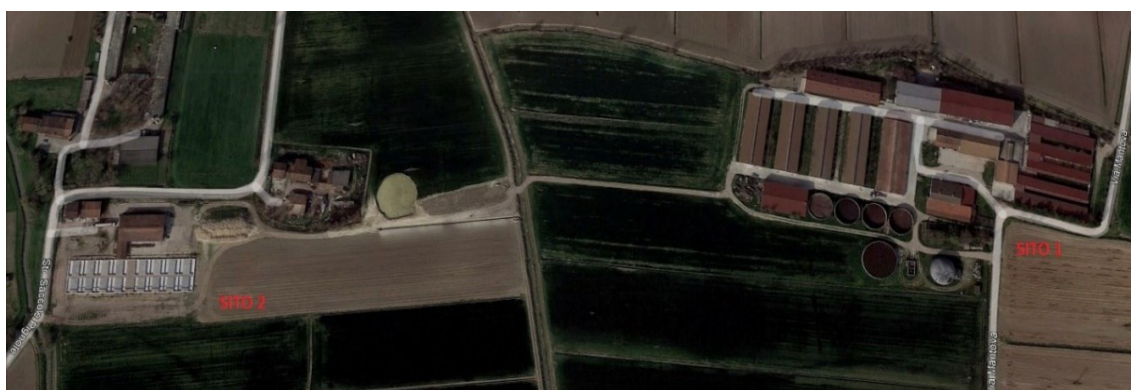
## 4. MATERIALI e METODI

### 4.1. Caso studio aziendale

Le prove sperimentali hanno avuto luogo presso un'azienda agro-zootecnica ubicata nel comune di Asola, in provincia di Mantova. L'azienda si caratterizza per l'allevamento suinicolo strutturato secondo un ciclo produttivo di tipo "ciclo chiuso", con la contemporanea presenza di tutte le fasi produttive, dalla riproduzione all'ingrasso. L'azienda è autorizzata a produrre suini per la produzione delle DOP Prosciutto di San Daniele e Prosciutto di Parma. Tutta la produzione è garantita da un sistema di tracciabilità interna certificata dall'istituto CSQA per il rispetto dei Disciplinari.

I due corpi produttivi aziendali sono dislocati, a distanza di qualche centinaio di metri, costituendo di fatto due siti aziendali denominati "Sito 1" e "Sito 2" (Fig. 21).

L'allevamento è condotto dal titolare con l'apporto lavorativo di sei dipendenti. Le principali colture agricole sono quelle cerealicole, mais e cereali a paglia, finalizzate alla produzione dei mangimi per l'allevamento ed in parte anche per la razione per l'impianto di biogas (100 kW) oltre a tutti i reflui zootecnici di allevamento.



*Fig. 21 – particolare dei siti produttivi 1 e 2 dell'azienda zootecnica dove sono state condotte le prove sperimentali*

Nel sito 1 (Fig. 22), definito come centro aziendale, rappresenta la parte dedicata alla riproduzione, ovvero la fase più delicata del ciclo. Attualmente sono presenti circa 600 scrofe che assicurano una produzione media di circa 10.000 capi annui tra entrambi gli allevamenti. Al momento, la consistenza media di questo sito è di circa 6.000 suini.

Sono presenti, oltre alle sale parto e gli edifici per la fase di gestazione delle scrofe, n. 5 porcilaie dedicate alla fase d'ingrasso e una per la fase di magronaggio.

Oltre alle stalle, sono presenti gli uffici, una pesa, i ricoveri attrezzi e un mangimificio aziendale, dove vengono convogliate le materie prime per la produzione interna dei mangimi per le varie fasi.



*Fig. 22 – vista dall’alto sito 1, foto scattata con drone*

Per la distribuzione della razione si fa ricorso ad un sistema computerizzato, in particolare i suini all’ingrasso che presentano un’alimentazione liquida, con la somministrazione di pastone di granella, tramite impianto fornito dalla ditta *Cima*, mentre nella fase di magronaggio è *ad libitum* ma di tipo secco-liquido, tramite impiantistica *Big Dutchman*.

In Fig. 23, è possibile osservare invece il Sito 2. In quest’area sono presenti un centro di svezzamento, dove è stata eseguita la prova sperimentale, un ingrasso oltre che un ricovero attrezzi.

La consistenza media è di circa 4.000 capi. Qua giungono dal sito 1, tramite apposito carro aziendale, i suini svezzati per poi tornare, all’allevamento di partenza, una volta raggiunto un peso adeguato oppure completare il ciclo di finissaggio nella stalla d’ingrasso adiacente.

I mangimi anch’essi provengono dal sito 1. Nello svezzamento l’alimentazione è *ad libitum* secco-liquido, tramite impianto *Big Dutchman*. Mentre per quanto riguarda l’ingrasso, si fa ricorso ad un’alimentazione liquida, tramite apparecchiatura *Cima*.



*Figura. 23 – vista dall’alto sito 2, foto scattata con drone*

Questi due edifici sono dotati di tecnologie per il controllo dell’alimentazione appunto, ma anche per quanto riguarda la sensoristica e la ventilazione. Quest’ultima in particolare, consiste principalmente nell’estrazione dell’aria esausta e nell’immissione di aria pulita. Il sistema funziona attraverso una serie di apparecchiature gestite da una centralina elettronica che controlla un ventilatore, un flap posto sotto di esso, e un motorino che aziona delle aperture a soffitto.

L’aspirazione dell’aria esausta avviene modulando il flap che ne regola la velocità, affinché questa sia idonea, in quanto si estrae di più o di meno a seconda della temperatura, con dei limiti impostati dall’operatore in un intervallo tra un massimo e un minimo. L’aria pulita entra dalle aperture a soffitto e questa a sua volta arriva da una camera ricavata dal sottotetto. Grazie ad aperture laterali, longitudinali la stalla, proviene l’aria per riempire questa controsoffittatura. Tutto è regolato in base alla temperatura della stanza ed ogni cosa deve essere calibrata e funzionare in sinergia per avere un sufficiente ricambio e ricircolo dell’aria senza incappare in valore anomali di temperatura o velocità dell’aria. È presente un sistema d’allarme che comunica prontamente eventuali situazioni inconsuete. Inoltre, sono stati utilizzati materiali, come il legno, per rendere gli edifici ancora più performanti nel massimo rispetto del benessere (Fig. 24a – 24b – 24c – 24d).



*Fig. 24a, in alto a sinistra - particolare delle aperture laterali, 24b e 24c – diverse viste della camera ricavata sottotetto, 24d, in basso a destra – particolare delle aperture a soffitto*

Come definito in precedenza, nell'area svezamento, è stata eseguita la prova sperimentale. Tale struttura è composta da 16 stanze, ognuna di esse organizzata in otto box, per un massimo di 240 capi stabulati per stanza. Ognuna è fornita di propria centralina per la gestione dei parametri interni. All'interno dell'edificio è presente il sistema di controllo con il relativo programma gestionale dell'impianto. Particolarità di questo edificio sono le pareti in plastica e calcestruzzo con vantaggi rilevanti in termini di isolamento termico e pulizia degli ambienti (Fig. 25a – 25b).



*Fig. 25a – particolare della stanza, 25b – corridoio interno alla stalla*

## **4.2. Attività Sperimentale**

### **4.2.1. Descrizione degli arricchimenti**

Nell'ambito della seguente tesi di laurea sono stati messi a confronto, quattro diversi tipologie di arricchimenti. Una chiave di lettura importante è capire come questi arricchimenti influenzino il benessere dei suini (Godyn et al., 2019).

Sono stati forniti materiali manipolabili, diversi tra loro, a seconda delle rispettive caratteristiche che li differenziano e quindi catalogati in maniera differente.

La prova è stata quindi eseguita con i seguenti arricchimenti:

- Catena + tronchetto di legno morbido
- Corda
- Paglia in rastrelliera
- Paglia distribuita come lettiera su appositi tappetini

Come riportato nel Manuale (CReNBA & IZSLER, 2019) i primi tre arricchimenti vengono classificati come sub-ottimali, ma con qualche sostanziale differenza tra loro, mentre l'ultima tipologia rientra tra gli arricchimenti ottimali.

Nel primo caso (Fig. 26a – 26b), due materiali vengono integrati tra loro, per poter sfruttare a pieno dei vantaggi derivanti da uno e dell'altro. Tuttavia, se impiegati singolarmente sarebbero considerati come marginali cioè oggetti che possiedono poche caratteristiche del materiale ideale e che quindi dovrebbero essere associati ad altri. La scelta del tipo di legno è importante, in quanto utilizzando un tronchetto morbido non si espongono i suini al rischio di ingerire eventuali schegge e, al tempo stesso, si permette loro di masticare.



*Fig. 26a, 26b – particolare dell’arricchimento legno più catena utilizzati per la prova*

In altri, due box invece, è stata fornita invece corda grezza senza alcun’altra aggiunta (Fig. 27a – 27b – 27c), Questa viene classificata come sub ottimale cioè un materiale che possiede la maggior parte delle caratteristiche dell’oggetto ideale, ma che potrebbe essere combinato con altri per esaltarne le qualità.



*Fig. 27a,27b - corda fornita nei due box della lunghezza di circa 1m, da notare il nodo all’estremità perché altrimenti verrebbe distrutta nel giro di poco tempo*



*Fig. 27c – particolare della corda mangiata e ormai da cambiare dopo circa tre settimane di prova*



Discorso simile è rappresentato dalla paglia in rastrelliera (Fig. 28a – 28b – 28c), anch'essa considerata come un arricchimento sub ottimale ma con peculiarità che la rendono un materiale utilizzabile da sola, come è stato fornito nella prova.



*Fig. 28a, 28b – particolare di rastrelliere con e senza paglia, si può notare che è presente oltre alla griglia anche un raccogliatore sottostante per non sprecare paglia*



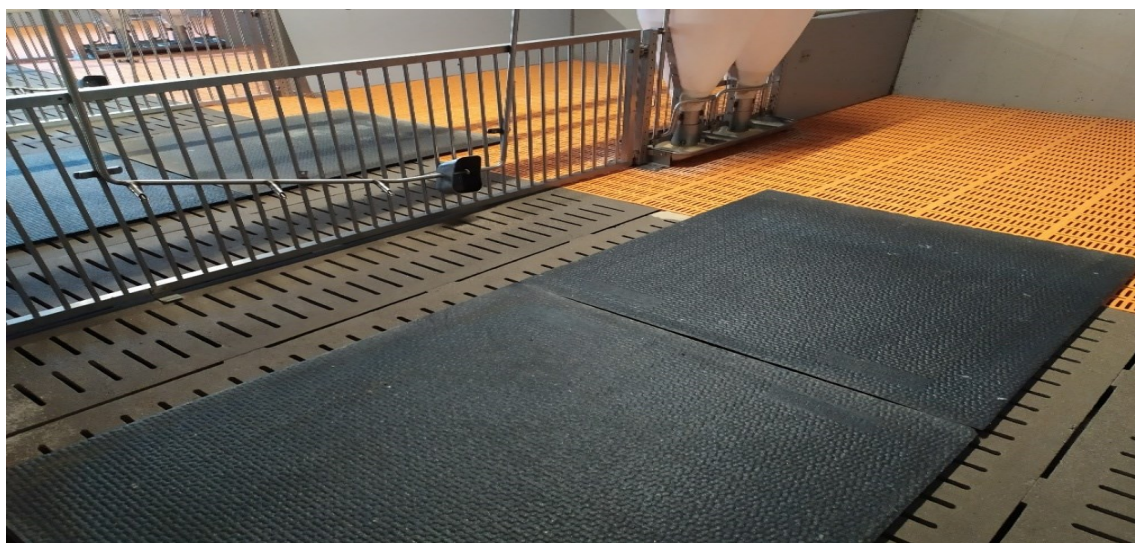
*Fig. 28c – momento di svago fornito dall'arricchimento*

Mentre, la paglia distribuita come lettiera (Figure. 29a – 29b – 29c) è un arricchimento che per le sue caratteristiche è classificato come ottimale e quindi un tipo di materiale che può essere fornito da solo perché possiede tutte le proprietà necessarie per soddisfare le esigenze dei suini. Come riportato nella *Raccomandazione UE 336/2016* (Commissione UE, 2016) questo materiale rispetta tutti i criteri richiesti per essere classificato come ottimale. Per la prova sono stati utilizzati quattro tappeti da 120cm x 130cm l'uno.

La paglia distribuita sul pavimento del box è l'arricchimento che meglio stimola il comportamento esplorativo degli animali. Tuttavia, i principali svantaggi sono legati al costo della paglia, importante richiesta di manodopera per la gestione della lettiera al fine

di evitare che si imbratti con feci/urine e all'incompatibilità con alcune tipologie di allevamento (pavimento grigliato o fessurato) con conseguenti problemi per i sistemi di evacuazione. Per questi motivi, anche gli altri materiali alternativi, seppur meno efficaci nello stimolare l'animale, si sono diffusi. Inoltre, gli oggetti sospesi posti a livello della testa del suino sono più attraenti, oltre che più economici, rispetto a quelli forniti a terra perché tendono a richiamare l'attenzione degli animali (Rossi et al., 2013).

Di seguito, alcune foto che rappresentano come sono stati forniti i vari arricchimenti ai suini durante la prova.



*Fig. 29a – sistemazione dei tappetini nei due box dove è stata distribuita la paglia come lettiera*



*Fig. 29b, 29c – una volta distribuita la paglia, gli animali si incuriosiscono, dopodiché iniziano ad esplorare il nuovo materiale*

#### 4.2.2. Protocollo Sperimentale

La prova sperimentale è iniziata il 20 ottobre 2021 ed è terminata il 15 gennaio 2022 con lo spostamento dei suini per completare il loro ciclo di finissaggio. È stata utilizzata la stanza n°11 del locale svezzamento presente nel sito 2 aziendale.

I suini presentavano un peso iniziale di  $9,0 \pm 1,5$  kg e un peso finale di circa  $65,0 \pm 2,0$  kg (Fig. 30). Gli animali, oltre ad inizio e fine ciclo sono stati pesati dopo circa otto giorni dall'arrivo in stalla.

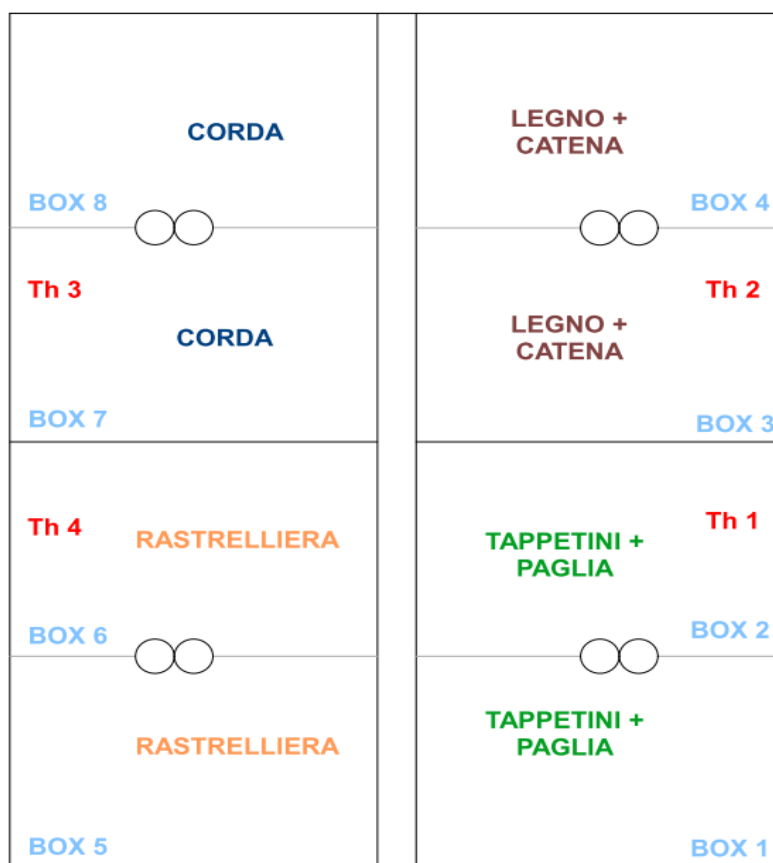


*Fig. 30 – fase di pesatura iniziale dei suini durante lo spostamento prima dell'inizio della prova*

Ogni box, di larghezza 2,50 m e lunghezza 2,80, è totalmente fessurato con la particolarità di presentare per circa metà un grigliato in plastica (zona nido) mentre l'altra metà un grigliato tradizionale.

Per ogni box erano stabulati 27 suini mescolati per sesso per un totale di 216 capi nella stanza. I box sono separati tra loro ma permettono il contatto tra gli animali.

Per la prova avevamo a confronto quattro tipi di arricchimenti diversi, corda, legno con catena, paglia in rastrelliera e paglia come lettiera. Avendo così quattro tesi e otto box a disposizione, sono state eseguite due repliche per ognuno dei materiali, come indicato nel disegno sperimentale (Fig. 31).



*Fig. 31 - disegno sperimentale di come sono stati suddivisi gli arricchimenti, le centraline e i sensori termici all'interno della stanza organizzata in 8 box*

Le rilevazioni sono state eseguite mediante 2 tipologie di centraline installate (Fig. 32a – 32b) nella stanza. Una prima tipologia per la raccolta dati relativi a parametri ambientali mentre l'altro per il movimento degli animali e dal sopralluogo quotidiano per un'analisi visiva dei suini. Entrambe le centraline avevano una frequenza di salvataggio di 15 minuti. A fine prova i valori rilevati erano l'umidità, la temperatura, i TVOC (composti organici volatili totali) e la polverosità.



*Fig. 32a, 32b – disposizione delle centraline e dei sensori termici nei box*

Per organizzare il monitoraggio visivo giornaliero dei suini, si è utilizzata un'apposita tabella di valutazione (Tab. 13). Ogni evento è stato così annotato per avere un'adeguata registrazione dei dati. I principali parametri rilevati facevano riferimento allo stato ambientale, degli animali e dell'alimentazione.

DATA	N° SCARTI	N° MORTI	INTERVENTI VET. (farmaco e volte)	ANALISI VISIVE	LIVELLO PULIZIA		NOTE
					Ambientale	Animale	
				<u>Legenda:</u> NL: nessuna lesione LL: lesione leggera LP: lesione pesante	<u>Legenda:</u> 0: pulito 1: sporco leggero 2: sporco pesante		

Tab. 13 – tabella utilizzata in fase di monitoraggio visivo giornaliero

Le indicazioni, contenute in tabella e registrate, sono organizzate in:

- Registrazione della data e dell'ora del monitoraggio;
- Numero di animali morti;
- Numero di animali definiti "scarti" ovvero bisognosi di particolari cure mediche e destinati all'infermeria, ma difficilmente recuperabili per la futura vendita;
- Interventi veterinari effettuati dagli operatori segnando il farmaco (principio attivo) e il numero di trattamenti;
- Le analisi visive consistevano anche nel verificare la presenza di eventuali lesioni sul corpo degli animali. A questo proposito è stata creata una legenda (NL: nessuna lesione, LL: lesione leggera, LP: lesione pesante) e con lesione pesante si intende la presenza di molteplici segni di morsiature, con sangue "fresco", mentre per lesione leggera si intende la comparsa di alcuni o pochi sfregi e il possibile inizio di fenomeni di cannibalismo (Fig. 33a);

È stato annotato anche il livello di pulizia sia a livello ambientale che animale, questo per vedere l'incidenza dei vari arricchimenti sul grado di pulizia. Anche in questo caso è stata adottata una legenda (0: pulito, 1: sporco leggero, 2: sporco pesante) per indicarne il livello, con sporco pesante si intende un box abbastanza sporco, con un'elevata quota di animali imbrattati (Fig. 33b – 33c);

Infine, sono state segnate in tabella eventuali note o eventi come ogni aggiunta di paglia, la sostituzione della corda o possibili somministrazioni di mangime medicato.



*Fig. 33a – esempio di lesione leggera verificatosi durante la prova*



*Fig. 33b, 33c – confronto tra animali nel box con rastrelliera (a sinistra) e animali ai quali è stata fornita paglia sottoforma di lettiera (a destra). È evidente il grado diverso di pulizia e la maggior attenzione e cura che richiede la lettiera*

Oltre, alle rilevazioni visive e delle centraline, ci si è affidati al programma gestionale presente all'interno dello svezzamento. I dati relativi alla distribuzione e consumo di razione alimentare sono salvati dal software, grazie alla presenza di vari sensori lungo

l'impianto di alimentazione e dentro le singole mangiatoie. Questi vanno a creare così uno storico da dove è possibile osservare anche l'andamento d'ingrasso dei suini. Settimanalmente, sono stati esportati i file Excel creati dal programma con un riepilogo delle quantità di mangime somministrato e ricevuto per valvola, tipo di mangime in base alla curva di crescita e valutazione sul periodo di finissaggio. È possibile anche fare un'analisi dei costi, inserendo i relativi costi, per ogni tipo di formula di alimentazione somministrata.

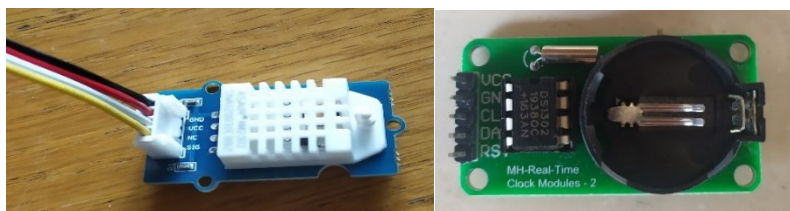
#### 4.2.3. Sensoristica e Programmazione

In questa sezione viene illustrato tutto ciò che è stato assemblato e cablato per la realizzazione di 8 centraline ambientali e 4 centraline termiche, che corrispondono alla parte hardware, e successivamente verrà presentata la parte software per il funzionamento di queste centraline.

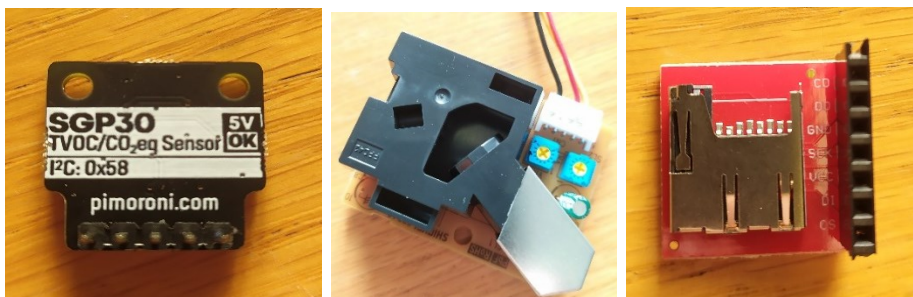
Per la rilevazione di alcuni parametri ambientali è stato realizzato un sistema Arduino denominato ECU-SusScrofa (Unità di Controllo Ambientale – SusScrofa). Le centraline realizzate si compongono di una scheda Arduino Uno REV3. Si tratta di una scheda basata sull'ATmega328P cioè un microcontrollore chip a basso costo comunemente usato in sistemi autonomi non complessi. Tale centralina viene collegata al computer tramite un cavo USB e viene alimentata con un adattatore AC-DC oppure con una batteria.

Oltre alla scheda Arduino sono presenti i seguenti moduli:

- MODULO DHT 22 cioè un rilevatore di umidità e temperatura. Utilizza un sensore di umidità capacitivo e un termistore per misurare l'aria circostante ed emettere un segnale digitale sul pin dati (Fig. 34a);
- MODULO RTC DS1302 rappresenta un orologio dotato di batteria tampone, che consente di tenere traccia del tempo, registrando i dati per ora e giorno (Fig. 34b);
- MODULO SGP30 rappresenta un sensore per la rilevazione della qualità dell'aria. È in grado di misurare un'ampia gamma di composti organici volatili (VOC) e H<sub>2</sub>. Quando collegato ad un microcontrollore (Arduino Uno) restituisce letture dei composti organici volatili totali (TVOC) e l'equivalente di anidride carbonica (eCO<sub>2</sub>). Le concentrazioni di eCO<sub>2</sub> sono misurate in un intervallo da 400 a 60000 ppm, mentre quelle dei TVOC in un intervallo da 0 a 60.000 ppb (Fig. 34c).
- MODULO PPD42 rappresenta un sensore per rilevare la concentrazione delle particelle sospese in aria basato sul principio di diffusione della luce (Figura. 34d).
- MICRO SD per memorizzare i salvataggi delle varie rilevazioni (Fig. 34e).



*Fig. 34a, 34b – a sinistra il sensore DHT22, a destra RTCDS1302*



*Fig. 34c, 34d, 34e– a sinistra sensore SGP30, al centro il PPD42 e a destra lettore Micro SD*

Per poter rilevare il movimento dei suini all’interno del box sono state assemblate 4 centraline, che a differenza delle precedenti, montavano un sensore termico. Queste quattro centraline, definite “termiche”, sono composte dai seguenti moduli:

- Scheda Arduino Uno REV3.
- Micro SD.
- RTC DS1302
- AMG8833 è un sensore IR termico 8x8 che collegato alla scheda Arduino restituisce una serie di 64 letture di temperatura a infrarossi individuali (Fig. 35).



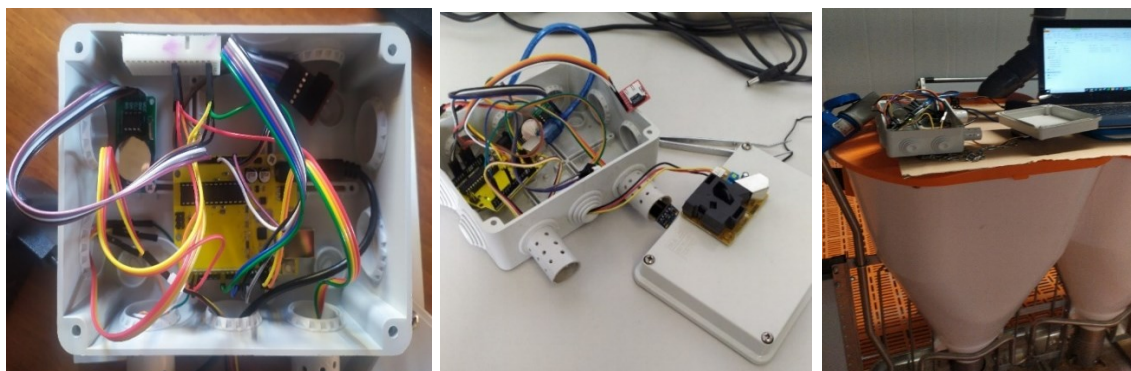
*Fig. 35 – il sensore termico AMG8833 con il relativo supporto*



Per quanto riguarda la programmazione software invece sono stati creati dei codici *ad hoc* per poter programmare le varie centraline e permettere la rilevazione dei parametri ambientali e del movimento dei suini. Sono stati realizzati quattro tipi di codici:

- CODICE SETTER: viene caricato prima degli altri due in quanto, attraverso questo, si fa un controllo iniziale di tutte le componenti cablate così, nel caso di eventuali errori o problemi nei collegamenti si è in grado di procedere all'immediata sistemazione della centralina.
- CODICE BASELINE è stata creata per il sensore ambientale SGP30. Infatti, per poter ottenere letture e misurazioni più precise questo deve essere calibrato rispetto a fonti note. Una volta collegata la centralina al PC, tramite il cavo usb, e caricato il codice su di essa, questa è rimasta per 12 ore (valore di tempo impostato nel codice) all'interno di una stanza vuota, senza suini, per poter avere dei parametri di riferimento. Una volta trascorso questo lasso di tempo, sulla scheda SD, sono presenti due file di testo (eCO<sub>2</sub> e TVOC) ed uno excel (CALI) relativi appunto alla calibrazione (Tab. 14 – Sezione Allegati).
- CODICE ECU-SUSSCROFA MAIN invece rappresenta il vero e proprio codice per le varie rilevazione. Una volta caricato, ogni 15 minuti, salva sulla scheda SD i valori (Tab. 15 – Sezione Allegati).
- CODICE THERMAL rappresenta il codice principale per le rilevazioni delle centraline con il sensore termico. Anch'esso effettua un salvataggio ogni 15 minuti. (Tab. 16 – Sezione Allegati).

Una carrellata di alcune foto che raffigurano come sono risultate, dopo il cablaggio dei vari sensori, le centraline “normali” e quelle termiche (Fig. 36a – 36b – 36c).



*Fig. 36a - particolare di una centralina ultimata*

*Fig. 36b – particolare di una centralina collegata al PC tramite cavo usb (cavo blu)*

*Fig. 36c – a destra, operazione di caricamento del codice Baseline, con stanza vuota, per calibrare le centraline*

## 5. RISULTATI

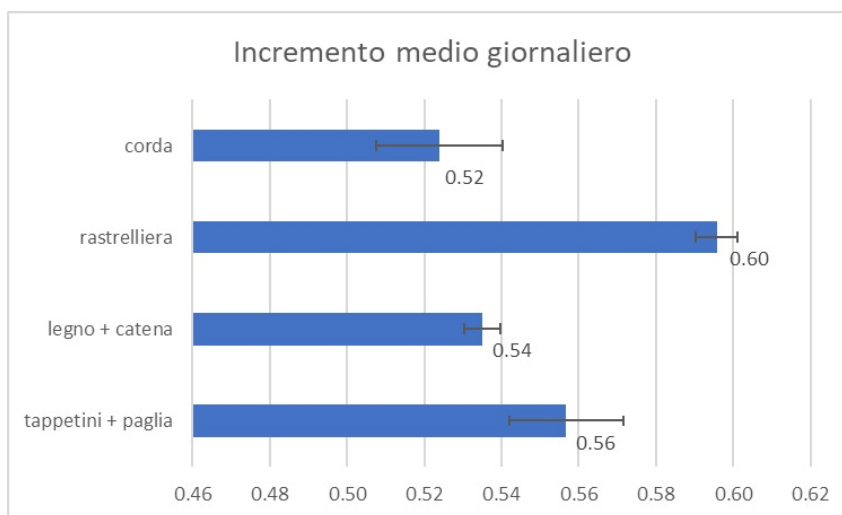
I seguenti grafici ed elaborazioni derivano dall'analisi dei dati registrati da: i) centraline termiche che miravano a fornire un'indicazione del movimento/posizionamento degli animali entro box, ii) centraline ambientali che avevano l'obiettivo di caratterizzare la condizione ambientale entro box e iii) dall'analisi del sistema produttivo, veterinario e gestionale (alimentazione)

Tutti i seguenti risultati sono stati ottenuti e contestualizzati, oltre che con l'ausilio di appositi grafici, anche con il prezioso contributo ricevuto dall'allevatore che opera direttamente a contatto con gli animali.

### 5.1. Risultati produttivi e gestionali

Relativamente allo scenario produttivo e gestionale, i prossimi grafici mettono in luce l'incremento medio giornaliero (Fig. 37a) ottenuto durante il periodo di prova nella specifica stanza e il livello di pulizia (Fig. 37b – 37c) visionato sia a livello ambientale che in seguito a osservazioni sugli animali.

L'incremento medio giornaliero è stato calcolato come differenza tra il peso finale e quello iniziale diviso il numero di giorni in stalla. Sono stati ottenuti valori diversi tra di loro tuttavia in piena tendenza con la media per la fase di svezzamento in genere attorno ai 500-600 grammi/giorno.



*Fig. 37a – confronto degli incrementi tra i vari arricchimenti*

Spicca il maggior incremento ottenuto negli animali con rastrelliera. Tuttavia, c'è da fare una premessa, in quanto i suini ai quali è stata fornita la paglia (o come lettiera o nelle

rastrelliere), hanno avuto un incremento maggiore rispetto agli altri due tipi arricchimenti, ma erano animali che già in partenza si presentavano più pesanti. L'andamento perciò ha rispecchiato la forma d'ingresso iniziale, anche se durante il ciclo, i suini con corda e legno più catena hanno "recuperato" con buoni risultati finali.

È inoltre plausibile che la paglia fornita, sia stata mangiata e che questa abbia soddisfatto la quota fibrosa non coperta dal mangime. Inoltre, avendo un'altra importante valenza come alimento altamente fibroso, può aver favorito i processi intestinali dei suini riducendo casi di diarree, soprattutto in questa specifica fase dello svezzamento molto delicata. Per contro, per sua natura, la paglia potrebbe aver causato un maggiore senso di sazietà negli animali, non favorendo o riducendo l'assunzione di mangime. Gli altri due arricchimenti hanno avuto un incremento simile, con la corda come valore più basso.

Per quanto riguarda il livello di pulizia, è stata posta maggiore attenzione ai box dove era presente la paglia. In particolare, dove è stata fornita come lettiera (perciò sui tappetini), questa ha causato un maggior imbrattamento degli animali con situazioni di sporco pesante, sia a livello ambientale che animale, negli ultimi giorni di ciclo. È stato necessario anche un intervento di pulizia dei tappetini per rimuovere le feci presenti.

Nei box dove era presente la paglia nelle rastrelliere, la situazione era migliore, ma nei punti dove questa si bloccava nelle fessure del pavimento grigliato causava ristagni di feci ed urine sporcando gli animali.

La condizione di pulizia migliore si è riscontrata nei box dove era presente la corda, in quanto si tratta di un tipo di materiale non troppo impattante a livello ambientale/animale.

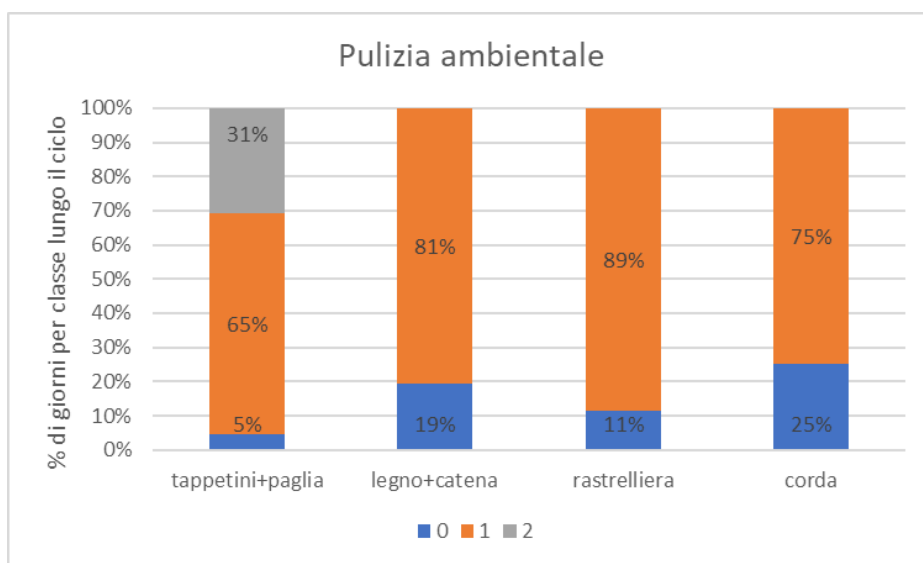


Fig. 37b – livello di pulizia ambientale

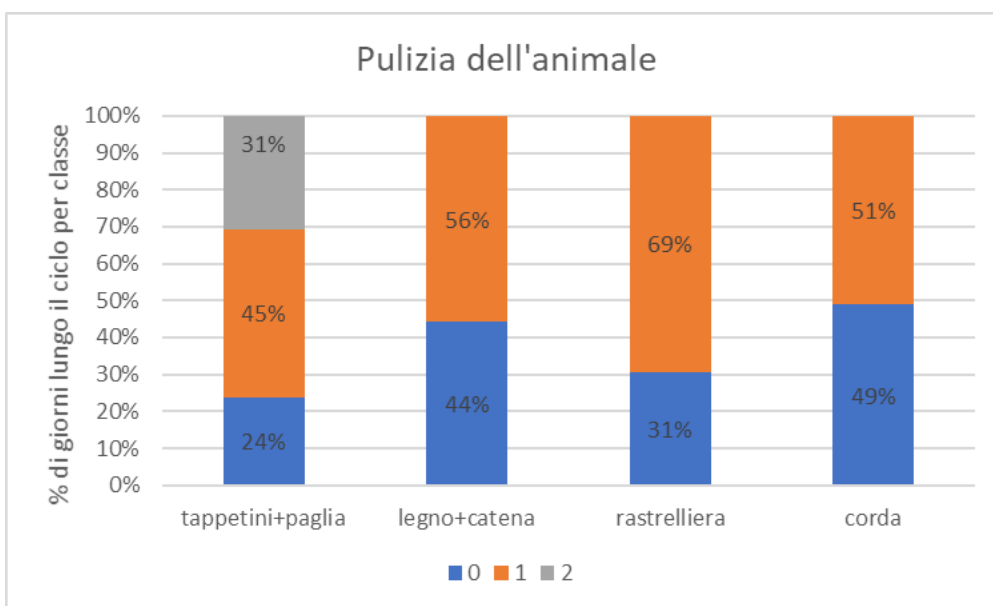


Fig. 37c – livello di pulizia dell'animale

## 5.2. Risultati climatico-ambientali

In questa sezione vengono presentati i risultati relativi ai parametri ambientali di temperatura, umidità, CO<sub>2</sub>, TVOC e polverosità. Vengono forniti per ognuno i box plot ottenuti dall'analisi delle medie per box di tutte le rilevazioni del periodo e la relativa analisi statistica per definire se le tesi sono significativamente diverse tra loro.

È importante evidenziare che le differenze tra tesi risentono dei flussi d'aria e che questi, in seguito alla loro direzionalità, hanno influenzato i valori rilevati come illustrerò di seguito.

Per quanto riguarda la temperatura, in seguito all'analisi della varianza, e successivo test di Tukey (questa procedura statistica è stata eseguita per tutte le tesi) è emerso, con una differenza altamente significativa, che la tesi legno più catena è diversa da tutte le altre, mentre gli altri arricchimenti sono uguali.

Nei box dove era presente il legno con catena c'era una temperatura più bassa, in un intervallo tra 25 °C e 25,8 °C, mentre negli altri casi la temperatura si aggira intorno ai 26 °C. Questo, si ipotizza, potrebbe essere dovuto alla vicinanza dei due box alle finestre della stanza che potrebbero avere leggermente alterato il gradiente termico. Inoltre, un altro fattore potrebbe essere la vicinanza al ventilatore di estrazione. Questo infatti estraendo l'aria esausta dall'interno della stanza richiama aria nuova, più fresca e questo

procedimento, data la prossimità, di questi box al ventilatore potrebbe verificarsi più rapidamente. C'è comunque da affermare, che i valori rilevati sono in linea con quanto impostato dall'allevatore come parametro nelle centraline e che questo livello di temperatura è idoneo anche in termini normativi (Fig. 38a – 38b).

```

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
df$tesi      3   3.669    1.2230    13.24 1.53e-06 ***
Residuals   52   4.801    0.0923
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> tukey1<-TukeyHSD(res.an)
> tukey1
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = df$t ~ df$tesi)

$`df$tesi`
      diff      lwr      upr    p adj
legn-corda -0.63971911 -0.9445439 -0.3348943 0.0000054
rast-corda -0.05847899 -0.3633038  0.2463458 0.9565468
tap-corda  -0.10678773 -0.4116126  0.1980371 0.7890385
rast-legn   0.58124013  0.2764153  0.8860650 0.0000324
tap-legn    0.53293138  0.2281066  0.8377562 0.0001374
tap-rast   -0.04830875 -0.3531336  0.2565161 0.9747089

```

Fig. 38a – analisi della varianza

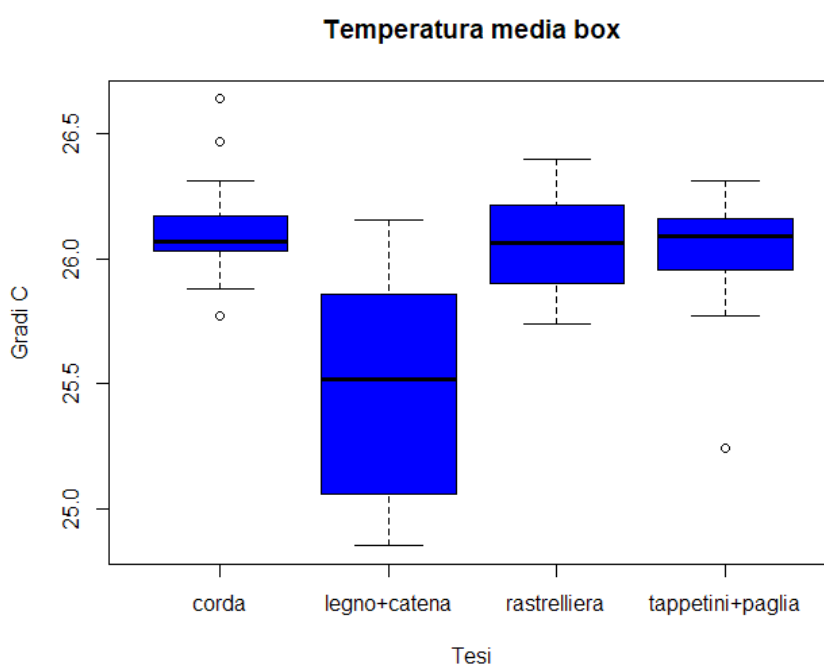


Fig. 38b – box plot con le differenze tra temperature

Per quanto riguarda il parametro umidità relativa è emerso che la tesi “corda” è diversa da gli altri arricchimenti e che questi sono uguali tra loro. Nei box con corda si sono

riscontrati valori intorno al 78-82% mentre negli altri box si sono verificati valori più alti superando anche il 90% nel caso dei tappetini. Questo può essere dovuto anche in questo caso al flusso dell'aria, in quanto i box con corda sono prossimi anch'essi, come quelli con legno e catena, al ventilatore di estrazione e alle finestre pocanzi citate (Fig. 39a – 39b).

```

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
df$tesi      3  794.0    264.67    42.06 6.14e-14 ***
Residuals   52  327.2      6.29
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
>
> tukey1<-TukeyHSD(res.an)
> tukey1
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = df$ur ~ df$tesi)

$`df$tesi`
      diff      lwr      upr    p adj
legno+catena-corda  7.8618889  5.345439 10.378338 0.0000000
rastrelliera-corda  8.7757076  6.259258 11.292157 0.0000000
tappetini+paglia-corda  9.2269532  6.710504 11.743403 0.0000000
rastrelliera-legno+catena  0.9138187 -1.602631  3.430268 0.7704380
tappetini+paglia-legno+catena  1.3650643 -1.151385  3.881514 0.4808616
tappetini+paglia-rastrelliera  0.4512456 -2.065204  2.967695 0.9640624

```

Fig. 39a – analisi varianza

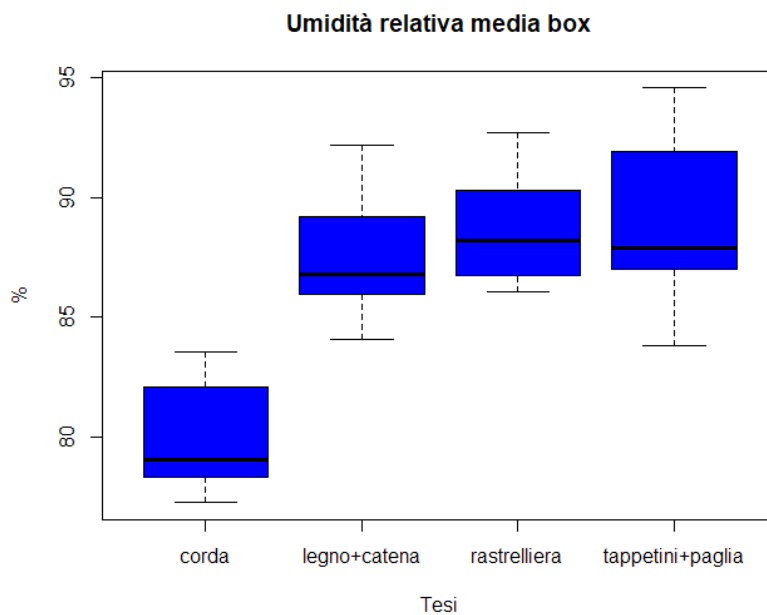


Fig. 39b – box plot con differenze tra umidità

Per il parametro CO<sub>2</sub>, l'analisi della varianza ha evidenziato differenza altamente significativa tra il legno con catena e la rastrelliera e tra tappetini e legno con catena, andando da un minimo di 500 ppm fino ad un massimo di oltre 1500 ppm. Anche questo parametro potrebbe essere stato influenzato dal flusso delle correnti d'aria, in quanto i

box dove erano presenti la corda e il legno con catena, essendo posti dopo i box con gli altri due arricchimenti hanno valori più elevati, come se i flussi d'aria si sommassero. Da sottolineare inoltre come la presenza dei tappetini influenzi i valori. Infatti, questi bloccando le fessure dei grigliati, vanno a modificare il normale flusso d'aria e questo va a ripercuotersi sui box adiacenti. Motivo per cui, si può ipotizzare, che i box con legno più catena essendo i più prossimi a quelli con i tappetini vengano influenzati da questo. È ipotizzabile, ma in misura minore, che valori di anidride carbonica più bassi siano stati riscontrati nei box dove si è verificato un minore movimento e gli animali erano tendenzialmente più calmi (Fig. 40a – 40b).

```
> summary.aov(res.an)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
df$tesi    3 3113847 1037949  3.597 0.0195 *
Residuals 52 15005128  288560
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> tukey1<-TukeyHSD(res.an)
> tukey1
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = df$CO2 ~ df$tesi)

$`df$tesi`
              diff          lwr          upr    p adj
legno+catena-corda      439.78059      -99.0922  978.65338 0.1463809
rastrelliera-corda     -150.83388     -689.7067  388.03891 0.8792552
tappetini+paglia-corda  -116.88196     -655.7547  421.99083 0.9389196
rastrelliera-legno+catena -590.61447    -1129.4873  -51.74168 0.0265071
tappetini+paglia-legno+catena -556.66255    -1095.5353  -17.78976 0.0404115
tappetini+paglia-rastrelliera  33.95192     -504.9209  572.82471 0.9983151
```

Fig. 40a – analisi varianza

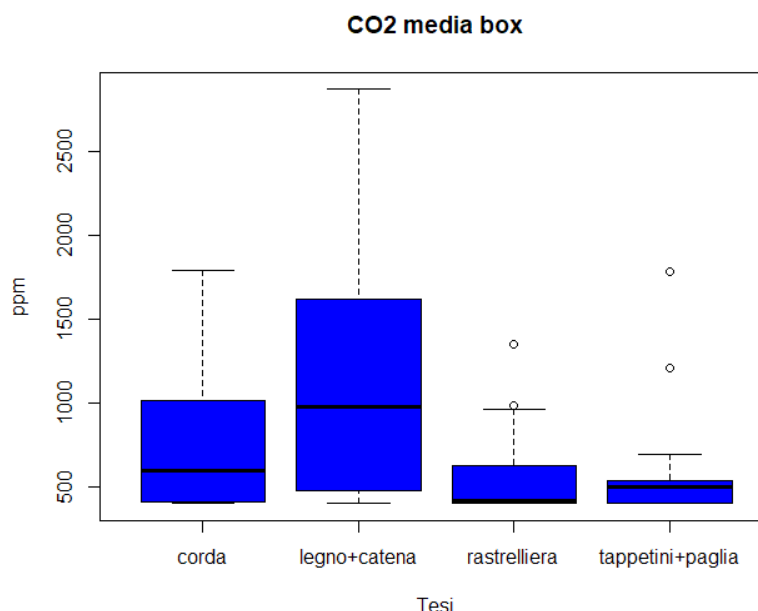


Fig. 40b – box plot con differenze tra CO2

Per quanto riguarda i TVOC non ci sono differenze significative tra le quattro tesi. In questo caso, i valori vanno da 80 a 200 ppb e sono in linea tra tutte le tesi. La normativa, tuttavia, non definisce valori soglia per questi composti, ma solo per quelli più dannosi come Ammoniaca, Biossido di carbonio, Acido solfidrico (Fig. 41a – 41b).

```

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
df$tesi      3  27822     9274   0.647  0.588
Residuals   52 744939    14326

>
> tukey1<-TukeyHSD(res.an)
> tukey1
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = df$TVOC ~ df$tesi)

$`df$tesi`
              diff          lwr          upr      p adj
legno+catena-corda      11.885097 -108.18272  131.95291 0.9935713
rastrelliera-corda     -9.583708 -129.65153  110.48411 0.9965971
tappetini+paglia-corda  49.154148  -70.91367  169.22197 0.6992260
rastrelliera-legno+catena -21.468805 -141.53662   98.59901 0.9643519
tappetini+paglia-legno+catena 37.269052  -82.79877  157.33687 0.8429269
tappetini+paglia-rastrelliera 58.737856  -61.32996  178.80567 0.5680963

```

Fig. 41a – analisi varianza

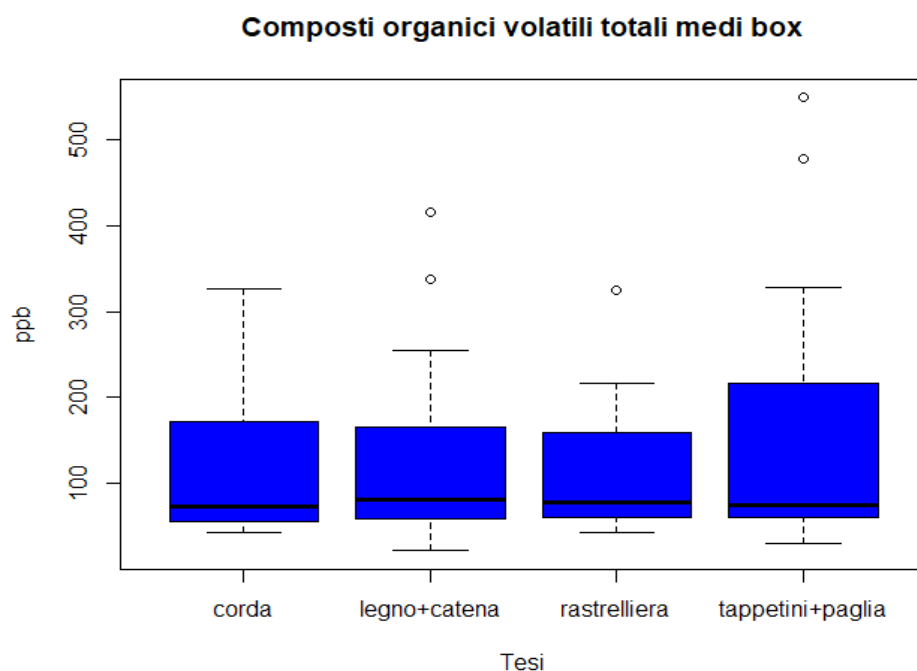


Fig. 41b – box plot con differenze tra TVOC

Infine, l’ultimo parametro ambientale considerato, ovvero, la polverosità ha evidenziato come ci siano differenze altamente significative tra le tesi “legno più catena”, “rastrelliera” e “tappetini con la corda”. Questi valori possono anch’essi essere influenzati dal flusso d’aria. Tuttavia, è interessante porre l’attenzione sul valore della corda, infatti,



i due box contenenti questo materiale di arricchimento erano adiacenti a quelli con la rastrelliera (secondo valore più alto).

È ipotizzabile che la presenza della paglia o durante la somministrazione le polveri derivanti da essa, seguendo il flusso dell'aria siano giunte nei box con la corda. Mentre nei tappetini dove era presente anche la paglia, venendo distribuita come lettiera, produce meno polveri e particelle (Fig. 42a – 42b).

```
> summary.aov(res.an)
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
df$tesi    3 40491126 13497042  22.46 1.84e-09 ***
Residuals  52 31254449   601047
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
>
> tukey1<-TukeyHSD(res.an)
> tukey1
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = df$dust ~ df$tesi)

$`df$tesi`
              diff      lwr      upr    p adj
legno+catena-corda -2107.35102 -2885.0693 -1329.6327 0.0000000
rastrelliera-corda -1432.85697 -2210.5753  -655.1387 0.0000586
tappetini+paglia-corda -2056.35450 -2834.0728 -1278.6362 0.0000000
rastrelliera-legno+catena  674.49405  -103.2243  1452.2124 0.1107698
tappetini+paglia-legno+catena  50.99652  -726.7218  828.7148 0.9981025
tappetini+paglia-rastrelliera -623.49754 -1401.2158  154.2208 0.1578673
```

Fig. 42a – analisi varianza

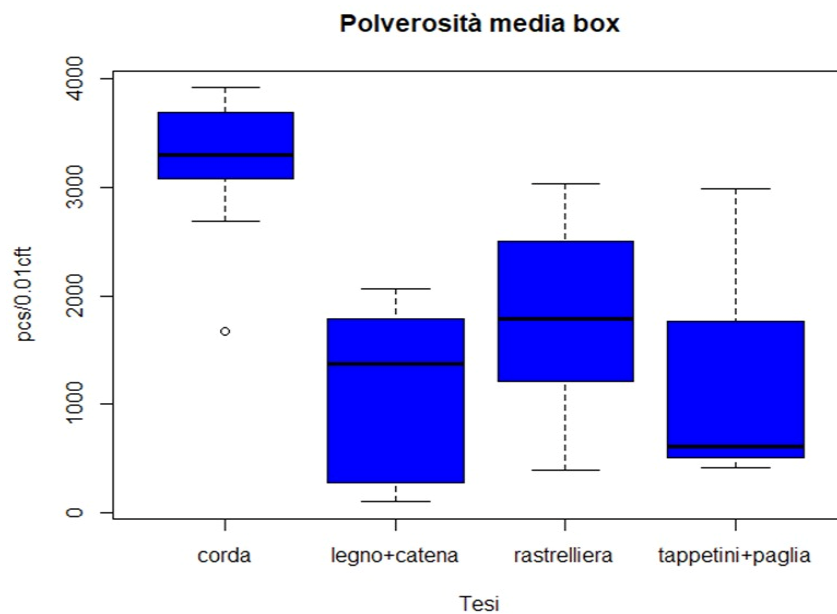


Fig. 42b – box plot con differenze tra valori di polverosità

### 5.3. Risultati termici

Grazie alle rilevazioni dei sensori termici è stato possibile monitorare alcuni comportamenti che hanno assunto gli animali nel corso del periodo di prova per le quattro tesi di arricchimento ambientale.

Dall'analisi della varianza (Fig. 43a) è emerso che “rastrelliera” e “legno con catena” sono le uniche tesi statisticamente non diverse mentre tra le altre c'è differenza significativa. Tuttavia, va fatta una premessa, i sensori termici sono stati posizionati sopra la zona definita “nido”, area nella quale gli animali passano la maggior parte del tempo distesi per riposare.

Nei grafici seguenti la percentuale di occupazione del campo visivo del sensore termico è stata calcolata con la seguente formula:

$$\frac{T^{\circ}_{pixel} - T^{\circ}_{min}}{T^{\circ}_{max} - T^{\circ}_{min}}$$

Dove:

$T^{\circ}_{max}$ : pixel occupato completamente dall'animale

$T^{\circ}_{min}$ : pixel completamente senza animale

Come si evince, dal box plot (Fig. 43b), la percentuale di occupazione è maggiore nel caso dei tappetini con paglia come lettiera mentre è minore nel caso della corda.

Da tale andamento si possono ricavare così alcune considerazioni operative. Prima di tutto, è probabile che gli animali passino la maggior parte del tempo nella zona nido in quanto, essendoci la lettiera, la zona con i tappetini si imbratta velocemente così da creare un'area poco gradita ai suini e prediligendo l'altra più pulita. Un'ulteriore analisi del perché si trovino poco in quella zona può essere data dal fatto che, a causa delle aperture nel soffitto per permettere l'entrata dell'aria, si crei un flusso che termina nella zona dove ci sono i tappetini, provocando lo spostamento verso il nido. In genere, infatti, i suini risentono molto di eventuali correnti d'aria dirette. Queste correnti possono essere ridotte o, nulle, nel caso appunto dei box con corda per la vicinanza del ventilatore di estrazione (Fig. 43a – 43b).

```

> summary(res.an)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
df1$test    3 7025556 2341852   63100 <2e-16 ***
Residuals 276044 10244905      37
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> summary.aov(res.an)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
df1$test    3 7025556 2341852   63100 <2e-16 ***
Residuals 276044 10244905      37
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
>

```

	diff	lwr	upr	p adj
legno+catena-corda	6.819853616	6.73557923	6.90412800	0.0000000
rastrelliera-corda	6.820951192	6.73669788	6.90520450	0.0000000
tappetini+paglia-corda	14.258578645	14.17434638	14.34281091	0.0000000
rastrelliera-legno+catena	0.001097576	-0.08317681	0.08537196	0.9999866
tappetini+paglia-legno+catena	7.438725029	7.35447168	7.52297838	0.0000000
tappetini+paglia-rastrelliera	7.437627453	7.35339518	7.52185972	0.0000000

Fig. 43a – analisi varianza

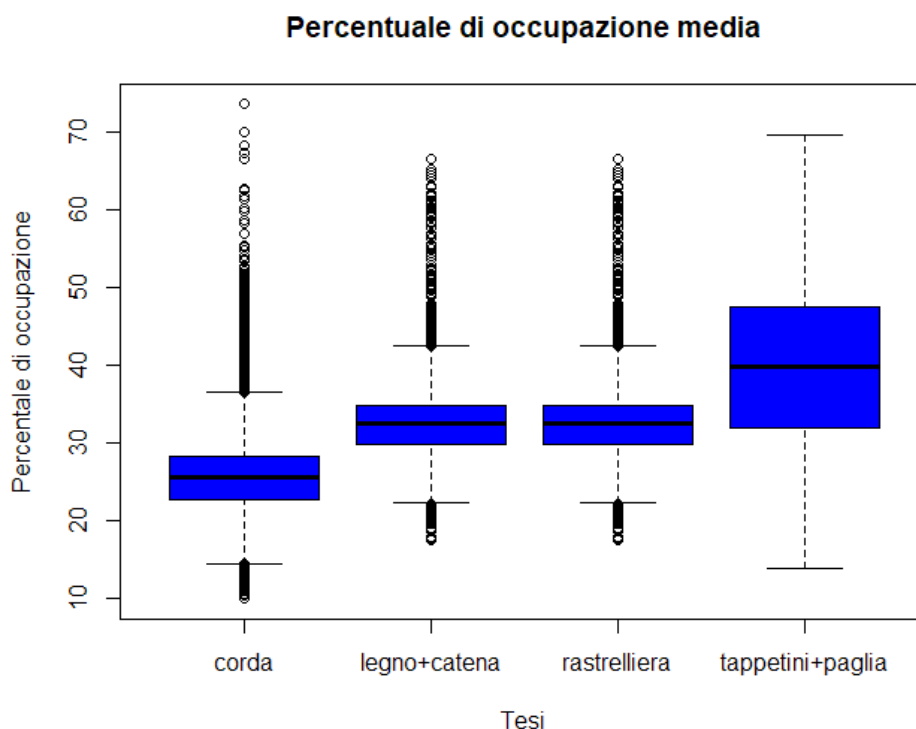


Fig. 43b – box plot con differenze tra le percentuali di occupazione media

Nella sezione “Allegati” è possibile osservare altri grafici ed elaborazioni che illustrano l’andamento dei movimenti dei suini nel corso di quattro giorni. La tendenza è pressoché simile in tutte e quattro le tesi di arricchimento, dove è possibile distinguere il periodo della notte (picco) in quanto la maggior parte dei suini si trova sotto il sensore, mentre le curve tendono ad abbassarsi in corrispondenza dei momenti del pasto (ore 7, ore 15 e ore

22) dove gli animali tendono ad agitarsi per l'arrivo del mangime e a spostarsi verso la mangiatoia. A questo proposito, per ridurre l'agitazione e l'irrequietezza, l'allevatore è passato da tre pasti a cinque al fine di mitigare tali reazioni.

Inoltre, osservando la curva definita trend, si nota che tende ad aumentare, questo perché gli animali più crescono e più hanno bisogno di spazio e quindi tendono ad esplorare maggiormente.

Nei grafici sottostanti a quelli dell'occupazione della termica, "*data*" corrisponde al dato normale cioè al dato grezzo, "*seasonal*" è invece l'andamento giornaliero che considera solo le escursioni giornaliere mentre "*trend*" è l'andamento dei quattro giorni presi in considerazione.

## 6. CONCLUSIONI

Per poter rispondere alle attuali ed alle prossime esigenze del mercato, il comparto suinicolo dovrà sempre più considerare tecnologie in grado di garantire un controllo animale e di tutti i processi produttivi aziendali con l'obiettivo di raggiungere una maggiore efficienza produttiva ma al tempo stesso perseguire obiettivi di benessere animale che saranno sempre più rilevanti per la sostenibilità del settore.

In questo lavoro di tesi, si è posta l'attenzione sul confronto tra quattro diverse tipologie di materiali di arricchimento che sono, tra l'altro, anche quelli più diffusi nelle aziende suinicole.

A seguito di tale esperienza sperimentale, è difficile affermare con certezza quale tra i quattro arricchimenti sia il migliore perché ognuno di essi ha i propri vantaggi e svantaggi. Si può però affermare che la paglia gioca un ruolo importante per poter aumentare il benessere dei suini, anche se richiede particolari attenzioni e strategie gestionali dedicate. Tuttavia, relativamente all'esigenza di garantire un monitoraggio continuativo degli animali e delle strutture produttive è da segnalare l'insorgenza di alcuni problemi che si sono verificati durante il periodo di prova e che hanno causato il malfunzionamento di alcune centraline. Il modulo RTC soltanto in poche centraline, ha funzionato correttamente mentre nella maggior parte i valori di data e ora erano spesso alterati rispetto a quelli reali. Altre difficoltà si sono riscontrate anche a causa dell'ambiente, ovvero, a seguito della presenza di mosche, e per il tempo che le centraline sono rimaste in stalla, queste hanno causato un imbrattamento dei sensori con conseguente difficoltà nelle rilevazioni. I cavi utilizzati per cablare le varie componenti si sono ossidati durante la prova e, più della metà degli alimentatori, si sono bruciati, in quanto si tratta di centraline rimaste in stanza per più di un ciclo produttivo (includendo anche l'installazione e il test). Per poter lavorare in ambienti di questo tipo, perciò, è necessario utilizzare apparecchiature e dispositivi con un elevato grado di resistenza alle condizioni ambientali. C'è da dire però che per il costo relativamente contenuto dei sensori, in particolare in quelli termici, ha comunque permesso di ottenere dati preliminari certamente interessanti.

Concludendo, l'elenco dei concetti tecnologici e dei nuovi dispositivi con cui il settore dovrà acquisire familiarità è ampio. Le aziende diventeranno sempre più *smart* per poter competere sul mercato ed offrire un prodotto che sia valido e che rispecchi le richieste dei consumatori. Una delle prime sfide sarà valorizzare i benefici generati da questi strumenti durante il processo per l'intera filiera.

Le opzioni di analisi dei dati sono vaste, ma utili solo se tutti quei dati verranno tradotti in informazioni e report accurati che permettano di prendere decisioni concrete, mirate e tempestive per poter contrastare il problema. La tecnologia avanza inarrestabile ed è fondamentale sfruttare i vantaggi che può offrirci.

## Bibliografia

- Artmann, R. (1999). Electronic identification systems: state of the art and their further development. *Computers and Electronics in Agriculture*, 24(1–2), 5–26. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(99\)00034-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(99)00034-4)
- Banhazi, T. M., & Black, J. L. (2009). Precision Livestock Farming: A Suite of Electronic Systems to Ensure the Application of Best Practice Management on Livestock Farms. *Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering*, 7(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/14488388.2009.11464794>
- Basile C. (2021). *IL MERCATO DEI SUINI PRODUZIONE E CONSUMO 2020 OSSERVATORIO AGROALIMENTARE LOMBARDO QUADERNO n. 29-luglio 2021*.
- Bellini, S., Alborali, L., Massirio<sup>o</sup>, I., & Cinotti, S. (2009). *Evoluzione del comparto suinicolo in Italia: criticità e fattori di rischio*.
- Berckmans, D. (2004). *AUTOMATIC ON-LINE MONITORING OF ANIMALS BY PRECISION LIVESTOCK FARMING*.
- Berckmans, D. (2014). Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. In *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz* (Vol. 33, Issue 1). [www.welfarequality.net](http://www.welfarequality.net)
- Berckmans, D. (2017). General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*, 7(1), 6–11. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>
- Buller, H., Blokhuis, H., Lokhorst, K., Silberberg, M., & Veissier, I. (2020). Animal welfare management in a digital world. In *Animals* (Vol. 10, Issue 10, pp. 1–12). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ani10101779>
- Canali G, Fioriti Linda, Merenyi Mate, Parmigiani Paola, & Ronga Mariella. (2020). *LA COMPETITIVITÀ DEL SETTORE SUINICOLO*.
- Commissione UE. (2016). *raccomandazione (UE) 2016/ 336 della commissione - dell'8 marzo 2016 - relativa all'applicazione della direttiva 2008/ 120/ CE del Consiglio che stabilisce le norme minime per la protezione dei suini in relazione alle misure intese a ridurre la necessità del mozzamento della coda*. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/611>.
- Costa, C., Antonucci, F., Pallottino, F., Aguzzi, J., Sarriá, D., & Menesatti, P. (2013). A Review on Agri-food Supply Chain Traceability by Means of RFID Technology. *Food and Bioprocess Technology*, 6(2), 353–366. <https://doi.org/10.1007/S11947-012-0958-7>
- CReNBA, & IZSLER. (2019). *Valutazione del Benessere Animale nella specie suina: Manuale Esplicativo Controllo Ufficiale*. <http://www.classyfarm.it/>
- Ferrari, S., Silva, M., Guarino, M., Aerts, J. M., & Berckmans, D. (2008). *Cough sound analysis to identify respiratory infection in pigs*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.07.003>
- Godyn, D., Nowicki, J., & Herbut, P. (2019). *Effects of Environmental Enrichment on Pig Welfare-A Review*. <https://doi.org/10.3390/ani9060383>
- Halachmi, I., Guarino, M., Bewley, J., & Pastell, M. (2019). *Smart Animal Agriculture: Application of Real-Time Sensors to Improve Animal Well-Being and Production*. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-020518>
- Hartung, J., Banhazi, T., Vranken, E., & Guarino, M. (2017). European farmers' experiences with precision livestock farming systems. *Animal Frontiers*, 7(1), 38–44. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0107>

- Kashiha, M., Bahr, C., Ott, S., Moons, C. P. H., Niewold, T. A., Ödberg, F. O., & Berckmans, D. (2014). Automatic weight estimation of individual pigs using image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, *107*, 38–44. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2014.06.003>
- Kumar, P., Reinitz, H. W., Simunovic, J., Sandeep, K. P., & Franzon, P. D. (2009). Overview of RFID Technology and Its Applications in the Food Industry. *Journal of Food Science*, *74*, 101–106. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01323.x>
- Marinello, F., & Pezzuolo, A. (2017). *Development of a traceability system for the animal product supply chain based on Blockchain Technology Upstream and Downstream Processing of Biogas: From Production Technology to Performance Assessment View project animal well being View project*. <https://www.researchgate.net/publication/319702558>
- OECD. (2009). Smart Sensor Networks TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS FOR GREEN GROWTH OECD. *OECD Digital Economy Papers*, *167*. <https://doi.org/10.1787/5kml6x0m5vkh-en>
- Pezzuolo, A., Guarino, M., Sartori, L., González, L. A., & Marinello, F. (2018). On-barn pig weight estimation based on body measurements by a Kinect v1 depth camera. *Computers and Electronics in Agriculture*, *148*, 29–36. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2018.03.003>
- Rossi, Gastaldo A, & Ferrari P. (2004). *Ricoveri, attrezzature e impianti per l'allevamento dei suini*. L'informatore agrario.
- Rossi P, Gastaldo A, & Barbieri S. (2013). *Tecnologie per l'allevamento dei suini*.
- Rossi P, Gastaldo A, Borciani M, Barbieri S, & Canali E. (2018). *IL BENESSERE DEI SUINI IN ALLEVAMENTO*.
- Sorice, A., Dai, F., & Barbieri, S. (2014). *Aspetti normativi nell'allevamento suino*. *4*, 59–69. [https://sivemp.it/wp/wp-content/uploads/2019/03/file\\_1421077036.pdf](https://sivemp.it/wp/wp-content/uploads/2019/03/file_1421077036.pdf)
- Tullo, E., Finzi, A., & Guarino, M. (2019). Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. In *Science of the Total Environment* (Vol. 650, pp. 2751–2760). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>
- Tzanidakis, C., Simitzis, P., Arvanitis, K., & Panagakis, P. (2021). An overview of the current trends in precision pig farming technologies. In *Livestock Science* (Vol. 249). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104530>
- Viazzi, S., Ismayilova, G., Oczak, M., Sonoda, L. T., Fels, M., Guarino, M., Vranken, E., Hartung, J., Bahr, C., & Berckmans, D. (2014). Image feature extraction for classification of aggressive interactions among pigs. *Computers and Electronics in Agriculture*, *104*, 57–62. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2014.03.010>
- Vranken, E., & Berckmans, D. (2017). Precision livestock farming for pigs. *Animal Frontiers*, *7*(1), 32–37. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0106>
- Wallenbeck, A., & Keeling, L. J. (2013). *Using data from electronic feeders on visit frequency and feed consumption to indicate tail biting outbreaks in commercial pig production 1*. <https://doi.org/10.2527/jas2012-5848>
- Welfare Quality ®. (2009). *Welfare Quality ® Assessment protocol for pigs*.
- Zavattini, S., Bardini, R., & Gruppo Veterinario Suinicolo Mantovano. (2017). *Corso di formazione per allevatori suini ai sensi dei DD.LLgs 146/2001 e 122/2011 - del Regolamento CE n. 1099/2009, D. Lgs. 146/2001-Castrazione dei suini- e della Raccomandazione UE n. 33/2016*. <https://swinevetgroup.it/>



## **Sitografia**

<https://www.vetinfo.it>

<https://www.3tre3.it>

<https://www.cima-impianti.it>

<https://cdn.bigdutchman.it>

<https://www.adafruit.com>

<https://www.fancom.com>

# ALLEGATI

## Codici di Programmazione Utilizzati

```
//Librerie importate
include <SPI.h>
include <SD.h>
include <Wire.h>
include <Adafruit_SGP30.h>
include <DHT.h>
-----
//
-----
// set up variables using the DHT 22:
#define DHTPIN 2 //Pin select DHT
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
DHT dht (DHTPIN, DHTTYPE); // Dichiaro il pin di dati DHT e il modello nella libreria DHT
-----
//
-----
// set up variables using the SGP30:

Adafruit_SGP30 sgp;
uint16_t TVOC_base, eCO2_base;
-----
//
-----
Serial.println(F( "\n\n\n Processo terminato!!!" ));
Serial.print(F( "****Valori di riferimento: eCO2: 0x" ));
Serial.print(eCO2_base, HEX);
Serial.print(F( " & TVOC: 0x" ));
Serial.println(TVOC_base, HEX);

Serial.println(F( "Inizio calibrazione... (durata 12h) \n *****" ));

mioFilex = SD.open( "Cali.csv" , FILE_WRITE);
mioFilex = SD.open( "ECO2.TXT" , FILE_WRITE);
mioFiley = SD.open( "TVOC.TXT" , FILE_WRITE);
```

*Tab. 14 – Baseline creata con programma Arduino*

```
//librerie importate
include <SPI.h> // libreria Arduino standard
include <SD.h> // libreria Arduino standard
include <Wire.h> // libreria Arduino standard
include <Adafruit_SGP30.h> // Adafruit Sensore SGP30 di Adafruit V1.2.0
include <ThreeWire.h> // RTC: RTC di Makuna V.2.3.4
include <RtcDS1302.h> // RTC: RTC di Makuna V.2.3.4
include <DHT.h> // DHT:
-----
//
-----
myFile = SD.open(box, FILE_WRITE);
myFile.println(F("Day;Time;C_Temp;%_HumRel;ppm_eCO2;ppb_TVOC;pcs/0.01CF_Dust"));
myFile.close();
Serial.print(box);
```

```

Serial.println(F(" file created"));
-----
//
-----
dataOnTtheRow = myFile.readStringUntil('\n');
dataOnTtheRow.replace("\n", "");
// goes to convert the string hexadecimal into a integer
eCO2_base = strtoul(dataOnTtheRow.c_str(), NULL, 16);
Serial.println(F("Print eCO2_base"));
Serial.println(eCO2_base, HEX);
-----
//
-----
dataOnTtheRow = myFile.readStringUntil('\n');
dataOnTtheRow.replace("\n", "");
// goes to convert the string hexadecimal into a integer
TVOC_base = strtoul(dataOnTtheRow.c_str(), NULL, 16);
Serial.println(TVOC_base, HEX);
-----
//
-----
char daystring[15];
sprintf_P(daystring,
          countof(daystring),
          PSTR("%04u/%02u/%02u"),
          dt.Year(),
          dt.Month(),
          dt.Day());
dataOnTtheRow = String(daystring);
dataOnTtheRow += (F(";"));

char timestring[10];
sprintf_P(timestring,
          countof(timestring),
          PSTR("%02u:%02u"),
          dt.Hour(),
          dt.Minute());
dataOnTtheRow += String(timestring);
dataOnTtheRow += (F(";"));

```

*Tab. 15 - codice ECU-SusScrofa Main*

```

//Librerie importate
include <SPI.h>
include "SdFat.h"
include <Wire.h> // standard Arduino library
include <Adafruit_AMG88xx.h>
include <ThreeWire.h> // RTC: RTC by Makuna V.2.3.4
include <RtcDS1302.h> // RTC: RTC by Makuna V.2.3.4
-----
//
-----
//AMG8833
Adafruit_AMG88xx amg;
float pixels[AMG88xx_PIXEL_ARRAY_SIZE];
String ThermalPX ="";
-----
//
-----

```

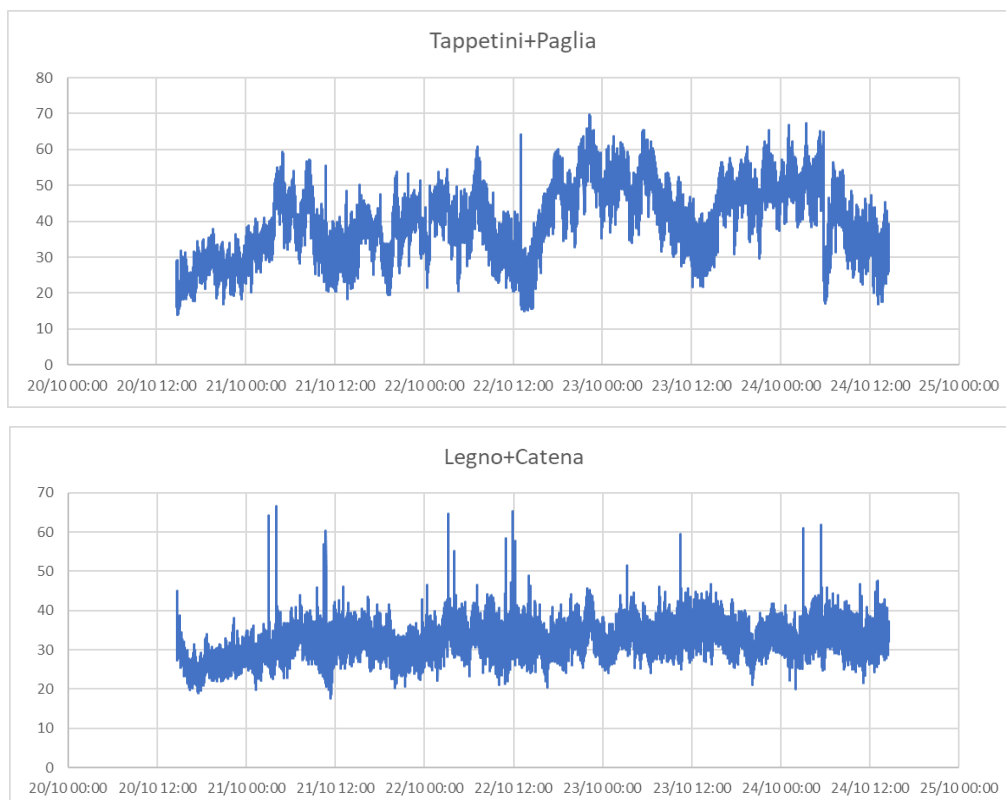
```

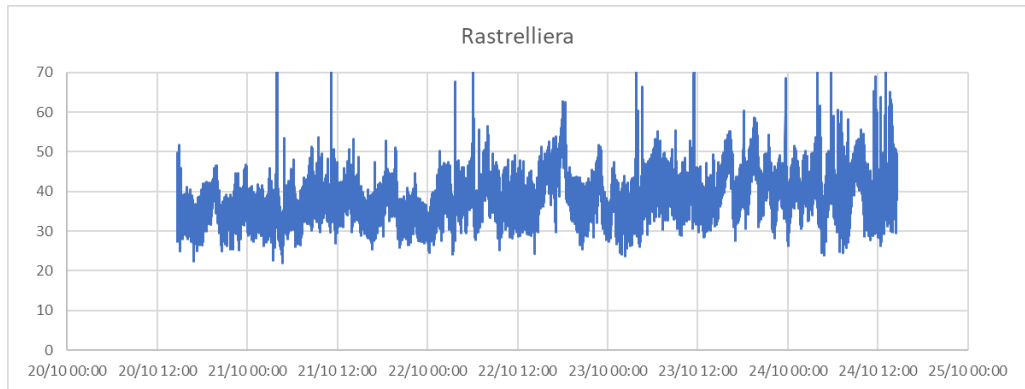
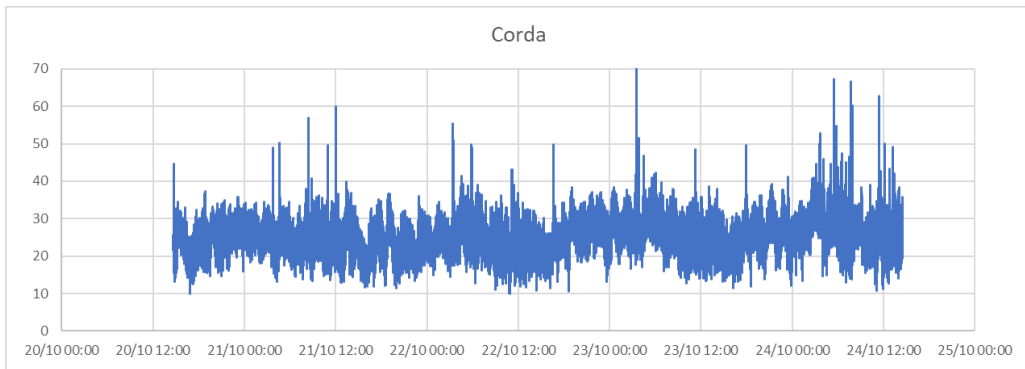
//Write data header
void writeHeader() {
file.println(F("Time;1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12;13;14;15;16;17;18;19;20;21;22;23;24;25;26;27;28;29;30;
31;32;33;34;35;36;37;38;39;40;41;42;43;44;45;46;47;48;49;50;51;52;53;54;55;56;57;58;59;60;61;62;63;
64"));}
-----
//
-----
//Log a data record
void logData() {
Serial.println(dataOnTheRow);
file.print(dataOnTheRow);
Serial.println(F("dataOnTheRow logged"));
amg.readPixels(pixels);
for(int i=1; i<=AMG88xx_PIXEL_ARRAY_SIZE; i++){
ThermalPX += (pixels[i-1]);
ThermalPX += (F(";"));}
file.println(ThermalPX);
//Serial.println(ThermalPX);
Serial.println(F("ThermalPX logged"));
ThermalPX = ""; }

```

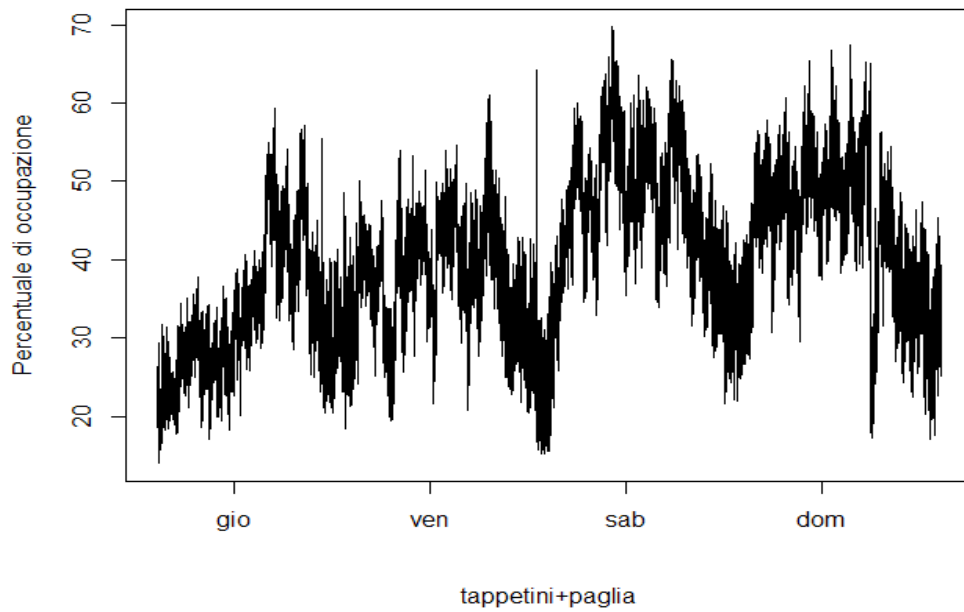
Tab. 16 - codice Thermal

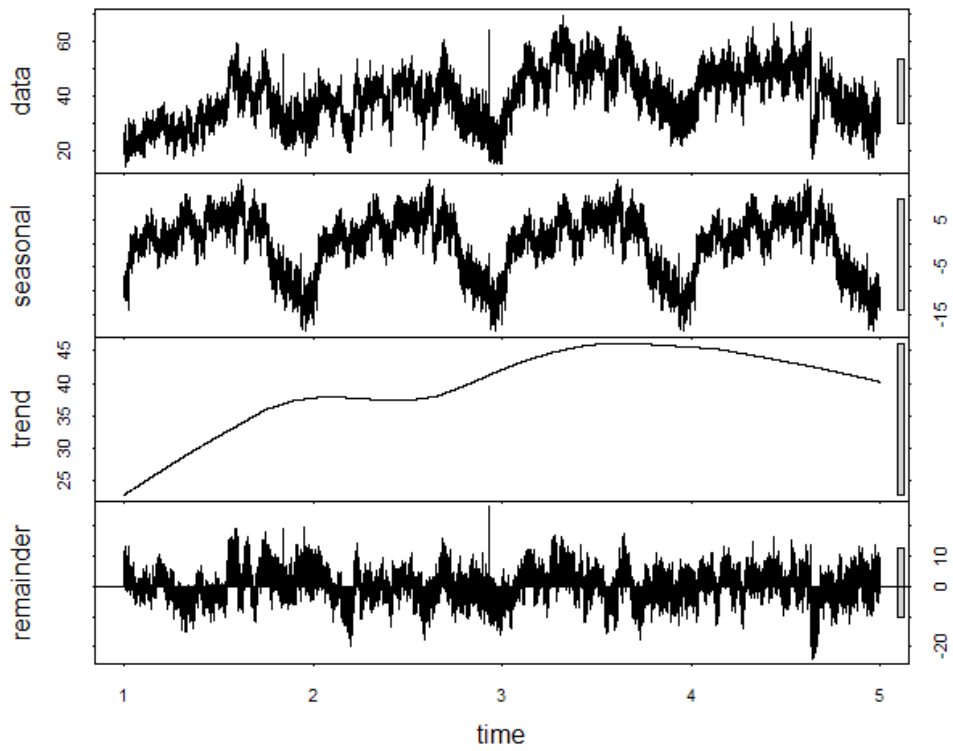
Elaborazioni supplementari relativi ai sensori termici per ogni tipologia di arricchimento



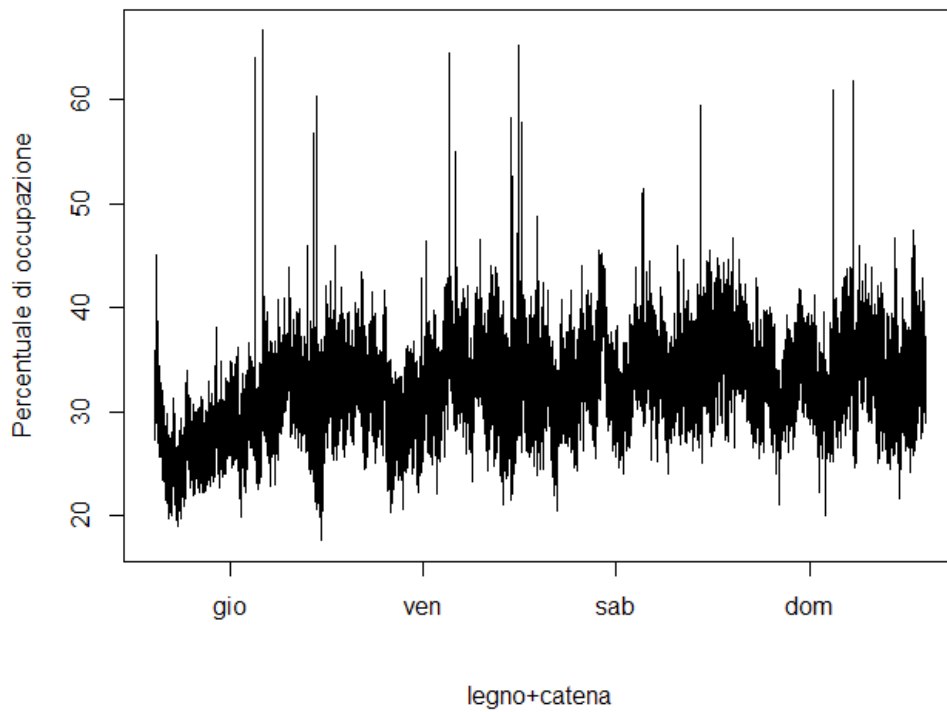


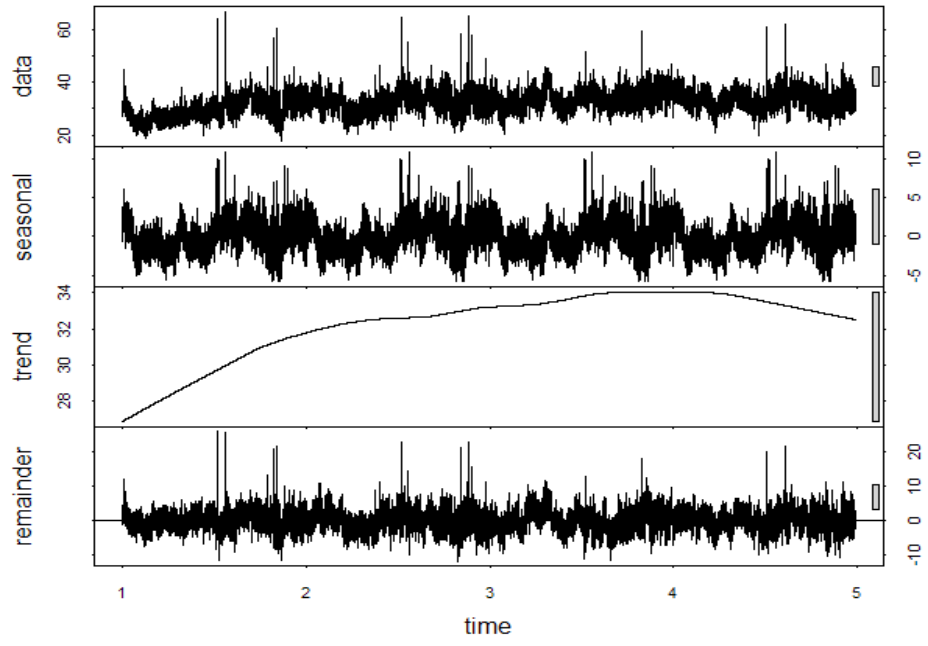
**Occupazione sensore termico**



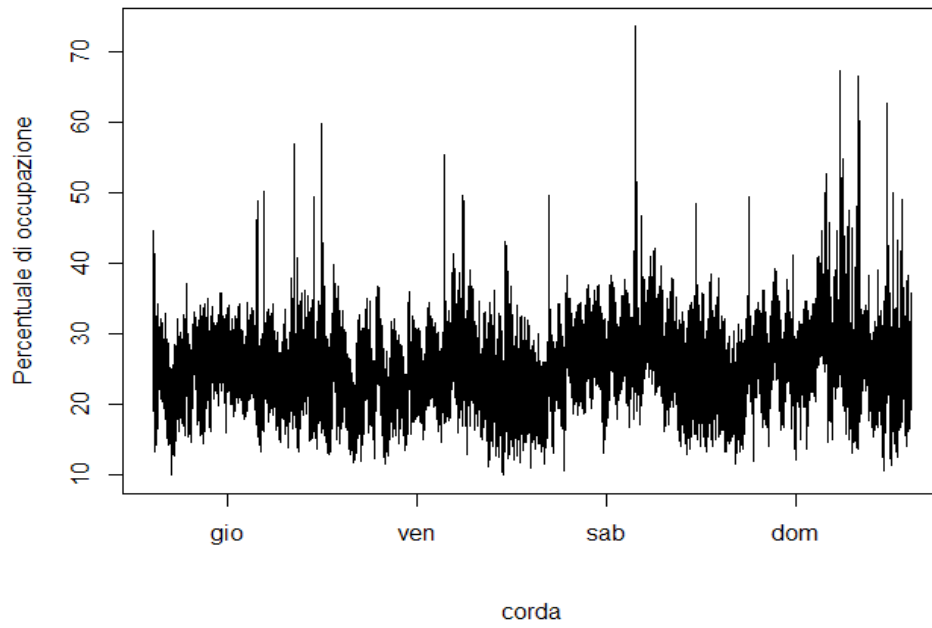


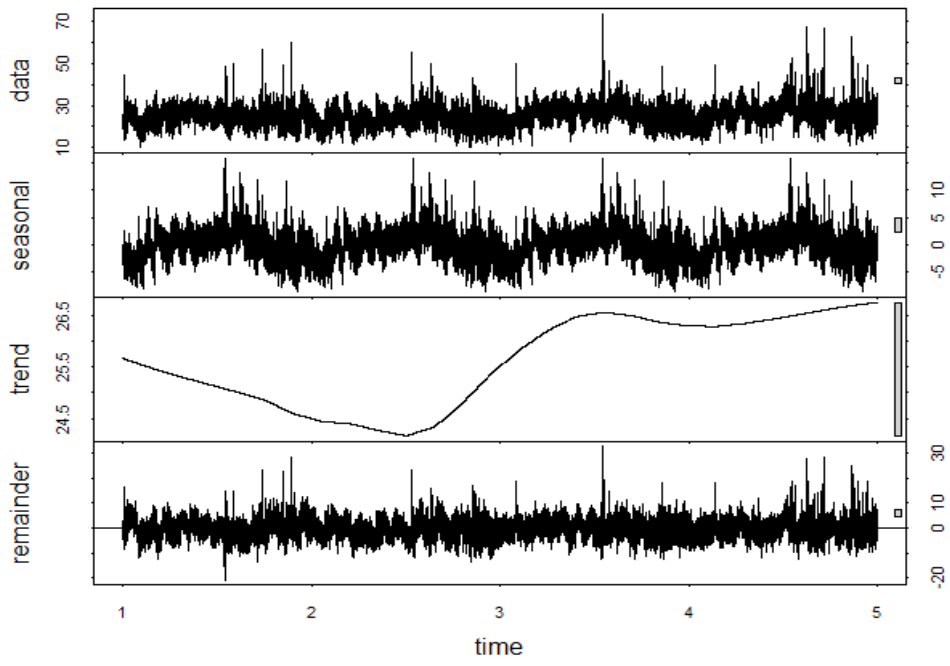
### Occupazione sensore termico



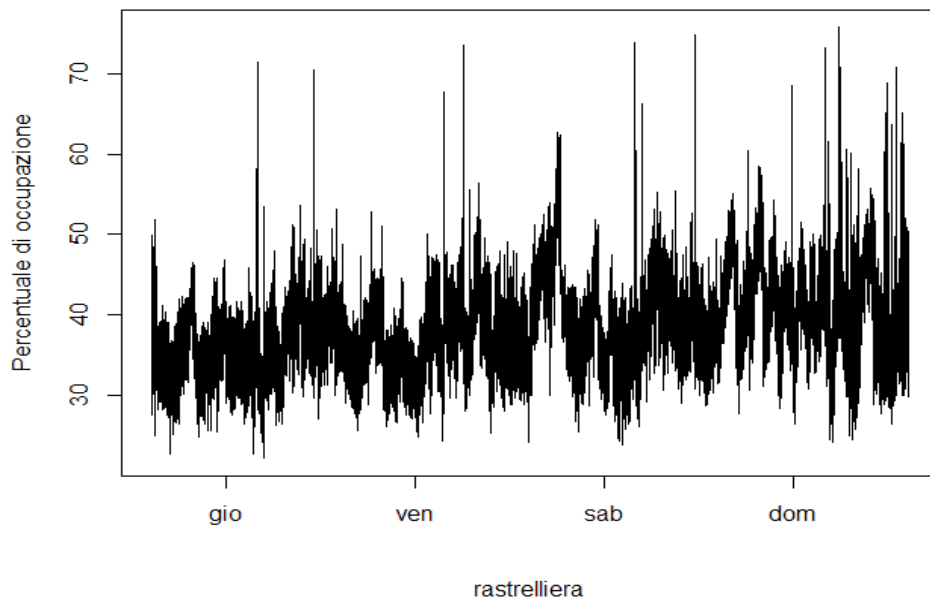


### Occupazione sensore termico





### Occupazione sensore termico





## Ringraziamenti

In chiusura a questo elaborato vorrei porre i miei più sinceri ringraziamenti a tutti quelli che durante questa avventura - perché di questo si è trattato - mi hanno aiutato in vari modi.

Vorrei partire ringraziando la mia famiglia, mamma, papà e i miei due fratelli che durante questi anni accademici mi hanno sopportato e supportato, anche a livello economico. I miei nonni, tutti gli zii e i cugini, la mia fidanzata che mi hanno sempre fatto sentire la loro vicinanza ed affetto.

Voglio ricordare anche gli angeli che, come in vita si sono sempre resi disponibili e non mi hanno mai fatto mancare niente, così adesso dall'alto continuano a rivolgermi lo sguardo e a custodirmi: ciao nonni e bisnonna!

Non può mancare un sentitissimo ringraziamento agli amici: siete stati anche voi fondamentali in questo percorso. In particolare, sono grato agli amici conosciuti in università i quali hanno reso meno pesanti le giornate e con i quali si è formata una solida amicizia che spero possa durare nel tempo. Un ringraziamento ai miei due compagni di avventura con cui ho iniziato l'università e con cui ho vissuto, partendo dal lontano 2016, durante il periodo universitario.

Ultimi nell'elenco, ma non per importanza voglio menzionare con riconoscenza chi mi ha seguito durante la preparazione e stesura di questo elaborato, con professionalità, competenza e disponibilità: prof. Pezzuolo, prof. Gallo, dott. Sozzi, dott. Giora e dott. Leserri.

Che dire? Questo cammino si è concluso, ora ne inizia uno nuovo con altre sfide e difficoltà, ma spero gratificante e ricco di soddisfazioni.

*Grazie a tutti,*

*Paolo*